



Tekijä

Jukka Seppänen

Diplomityön nimi

Optisen efektin toistaminen painopinnassa

Tiivistelmä

Työn tavoitteena on tutkia diffraktiivisen hilan toistamista embossauksella paperin painopinnan suojalakkaan. Lisäksi kirjallisuudesta tutkitaan vastaavien tekniikoiden kustannuksia.

Kirjallisuusosassa käydään läpi perusasiat diffraktiivisesta optiikasta ja sen tehonmittaukseen vaikuttavista tekijöistä, paperin pinnanmuodoista ja puristuksen vaikutuksista sekä painoväreistä ja suojalakoista eri painomenetelmissä. Mielenkiinnon kohde on hilan embossaus pinnalle, joten läpikäytyjä asioita on tarkasteltu sen kannalta. Lisäksi käydään läpi paperin pinnalla tapahtuvat optiset ilmiöt.

Hilan toisto kuumaembossauksella perustuu toistavan materiaalin termoplastisuuteen. Paperin pinnan epätasaisuus on useita mikrometrejä, joten hilalevyn saaminen pintakontaktiin paperille tehdyn painopinnan kanssa vaatii paperilta erityisesti pinnan hyvää kokoonpuristuvuutta. Muita tekijöitä, jotka vaikuttavat hilalevyn pintakontaktiin, ovat paperin pinnan tasaisuus, formaatio sekä paperissa tapahtuvat plastiset, elastiset ja viskoelastiset muodonmuutokset. Pinnalla olevan painovärikerroksen tasaisuuteen vaikuttavat puolestaan pintakerroksen huokoisuus ja karheus, päällystekerroksen ominaisuudet ja painoväriin käyttäytyminen paperin pinnalla.

Painomenetelmistä on tarkasteltu niiden soveltuvuutta embossaukseen. Osa inkjet-menetelmistä ja UV-kovetteiset materiaalit vaikuttavat olevan soveltumattomia tekniikkaan. Erilaiset lisäaineet voivat muuttaa materiaalien soveltuvuutta paljon.

Kuumaembossauksella toistettavan diffraktiivisen hilan tuotantokustannus on samaa luokkaa kuin kuumaleimauksen aiheuttama kustannus. Lisäksi tulevat aloituskustannukset, jotka syntyvät hilalevyn alkuperäisestä 3D-mallinnuksesta, masteroinnista sekä itse kopiointiin käytettävän hilalevyn valmistusvaiheista.

Kokeellisessa osassa tutkittiin kolme sarjaa näytteitä. Kokeissa käytetyt materiaalit olivat päällystettyjä painopapereita ja metalloituja papereita. Laboratoriolaitteistolla tutkittiin suoraan substraatille tehtyjä lakkauksia ja lakkauksia, joiden alla oli painovärikerros. Painopaperilla hilan toistaminen vaatii lakkauksen alle mustekerroksen, mutta metalloidulla paperilla jo yksi painovärikerros toimii hyvin. Tuotantolaitteistoilla tutkittiin lähinnä erilaisten materiaaliyhdistelmien toimivuutta.

Suojalakan (tai päällimmäisen mustekerroksen) alla olevan pinnan heikko musteen imukyky on hyvin tärkeä ominaisuus hilan toistamisen onnistumiseksi. Metalloitu paperi yksinään toimii hyvin yhdelläkin mustekerroksella; paperilla oleva painovärikerros toimii ilmeisesti myös riittävänä sulkuna. Saavutettava pintakontakti, käytettävä lämpötila ja vaikutusaika sekä pinnan termoplastisuus vaikuttavat eniten saavutettavaan hilan toistoon.

Työn valvoja

Professori Jouni Paltakari

Työn ohjaaja

Diplomi-insinööri Pekka Koivukunnas

Professuuri

Puu-21. Paperitekniikka

Koodi

2017

Sivumäärä

90

Kieli

Suomi

Avainsanat

kuumaembossaus, diffraktiivinen optinen efekti, muste, painopinta, kokoonpuristuvuus, termoplastisuus, topografia

Päiväys

23.11.2005



Author Jukka Tapani Seppänen	
Title of Thesis Replication of optical effect on printed layer	
Abstract <p>The objective of this thesis is to study the embossing of diffractive grid into overprint varnish. In the literature study the costs of this technique are also evaluated.</p> <p>The literature study discusses the diffractive optics and efficiency measurement, surface structure and compression behavior of paper, as well as ink and overprint varnishes in various printing methods. It also covers the optics in paper surface. The main view is on the embossing of diffractive optical effects (DOE).</p> <p>Replication of diffractive grid with hot embossing is based on the thermal plasticity of some materials. The height differences of paper surface are several micro meters, thus the contact between the shim and the printed surface on paper demands compressibility of the paper in the surface layer. Other factors effecting the contact are the evenness of paper surface, the formation, as well as the plastic, elastic and viscoelastic deformations. The evenness of the printed surface is ruled by porosity and roughness of the surface layer, properties of the coating layer, and the interaction of ink and paper.</p> <p>The printing methods are studied for suitability to emboss on the printed surface. Some ink jet prints and UV-cured materials appear to be inapplicable for the technique. Different additives affect the suitability of the materials.</p> <p>The price of hot embossing of diffractive grid is close to hot stamping. The initial costs of modeling, mastering and production of the shim also need to be considered.</p> <p>The experimental study consisted three sets of tests. The substrates used in the tests were coated printing papers and metal coated paper. Replications were made on printed layers directly on substrate and with varnishes over printed layer using laboratory equipment. The replication on printing paper needs a printing layer under the varnish while one layer works well on metal coated paper. Pilot productions were on material combinations.</p> <p>The poor absorbing ability of the layer under overprint varnish (or top ink) is important for good replication of DOE. Metallized paper resulted good quality with only one print layer. A print layer under varnish closed the surface of printing paper to an adequate degree. The obtained contact of paper and shim, temperature, time in contact, and thermo plasticity of the surface are the most important factors during replication.</p>	
Supervisor Professor Jouni Paltakari	Instructor M.Sc. (Eng.) Pekka Koivukunnas
Chair Puu-21. Paper Technology	Chair code 2017
Pages 90	Language Finnish
Keywords hot embossing, diffractive optical effect, ink, printed layer, compressibility, thermoplasticity, topografy	Date 23.11.2005

Alkulause

Tämä työ on tehty Avantone Oy:n toimeksiannosta. Työn valvojana on toiminut professori Jouni Paltakari ja ohjaajana diplomi-insinööri Pekka Koivukunnas. Heille erityinen kiitos panoksestaan ja ohjauksesta työn varrella. Lisäksi kiitokset Raimo Korhoselle, joka on myös osallistunut työn ohjaukseen.

Tähän työhön liittyvät laboratoriokokeet on tehty TKK:n paperilaboratoriossa MTS-laitteistolla, jonka käytössä minua opastivat Mari Nummela, Christian Orassaari ja Virve Karjalainen. Pilotmittakaavan kokeita tehtiin Turun offsetpainossa ja Newprintin painossa. Kiitokset molempien henkilökunnalle. Oulun VTT:n Mikroelektroniikan yksikkö on myös ansainnut kiitokset: osa mittauksista on tehty heidän tiloissaan ja mittalaitteillaan, loput heidän kehittämällään mittarilla.

Erityinen kiitos tulee Otaniemen vesitornissa työn aikaan olleille, joita on kiittäminen loistavasta työilmapiiristä ja avusta työn eri vaiheissa. Kiitos myös Kaisa ja Anna, joiden ansiosta tässä työssä on monta kirjoitusvirhettä ja huonoa muotoilua vähemmän. Juhalle kiitos kannustuksesta ja kärsivällisyydestä.

Helsingissä 23.11.2005

Jukka Seppänen

KIRJALLISUUSOSA.....	4
1. JOHDANTO	5
2. DIFFRAKTIIVINEN OPTINEN EFEKTI.....	6
2.1. PERINTEINEN OPTIIKKA	6
2.1.1. <i>Peiliheijastus ja sironta.....</i>	6
2.1.2. <i>Taittuminen rajapinnoilla.....</i>	8
2.1.3. <i>Värin muodostuminen</i>	9
2.2. DIFFRAKTIIVISEN OPTIIKAN PERUSTEET.....	11
2.2.1. <i>Diffraktio.....</i>	11
2.2.2. <i>Hilat.....</i>	12
2.2.3. <i>Hilan tehokkuus.....</i>	13
2.3. DIFFRAKTIIVISEN OPTIIKAN KÄYTTÖKOhteET	14
2.4. DIFFRAKTIIVISTA HILAA MONISTAVAT SYSTEEMIT	15
3. PAPERIN MUOKKAAMINEN PURISTAMALLA	18
3.1. PAPERIN PINNANMUODOT	18
3.2. KOKOONPURISTUVUUS.....	24
3.2.1. <i>Paperin kokoonpuristuminen.....</i>	24
3.2.2. <i>Kokoonpuristuvuuden mittaustapoja.....</i>	26
3.3. EMOSSAUS (DEBOSSAUS).....	27
4. PAINOVÄRIT JA SUOJALAKAT.....	29
4.1. PAINOVÄRIN KOOSTUMUS.....	29
4.2. VÄRIINEET.....	30
4.3. SIDOSINEET	32
4.4. LIUOTTIMET.....	34
4.5. LISÄINEET	37
5. PAINOMENETELMÄT.....	39

5.1.	YLEISTÄ	39
5.2.	OFFSETPAINO	41
5.2.1.	<i>Offsetvärien ja -suojalakkojen ominaisuudet</i>	41
5.2.2.	<i>Lisäaineet</i>	43
5.2.3.	<i>Offset-painetun pinnan embossautuvuus</i>	45
5.3.	SYVÄPAINO	45
5.3.1.	<i>Syväpainovärien ja suojalakkojen ominaisuudet</i>	45
5.3.2.	<i>Lisäaineet</i>	47
5.3.3.	<i>Syväpainetun pinnan embossautuvuus</i>	47
5.4.	FLEKSOPAINO	48
5.4.1.	<i>Painovärien ja suojalakkojen ominaisuudet</i>	48
5.4.2.	<i>Lisäaineet</i>	49
5.4.3.	<i>Fleksopainetun pinnan embossautuvuus</i>	49
5.5.	DIGIPAINAMINEN	49
5.5.1.	<i>Inkjet</i>	49
5.5.2.	<i>Elektrofotografia (jauhe- ja nestetoonereilla)</i>	52
5.5.3.	<i>Digipainetun pinnan embossautuvuus</i>	53
6.	KUSTANNUSMALLI	54
7.	YHTEENVETO KIRJALLISUUSOSASTA.....	56
	KOKEELLINEN OSA	59
8.	OPTINEN EFEKTI PAINOPINNASSA	60
9.	DIFFRAKTIIVISEN HILAN TEHONMITTAUS.....	61
10.	MTS-LAITTEISTOLLA TEHTY SARJA 1.....	64
10.1.	MATERIAALIT	64
10.2.	LAITTEISTO JA KOEJÄRJESTELY	64
10.3.	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	66

10.3.1.	<i>Yksi painokerros substraatilla</i>	<i>67</i>
10.3.2.	<i>Kaksi päällekkäistä painokerrosta substraatilla.....</i>	<i>69</i>
10.4.	LAKKAKERROKSEN PAKSUUS.....	71
11.	TUOTANTOLAITTEISTOLLA TEHTY SARJA 1.....	73
11.1.	MATERIAALIT	73
11.2.	LAITTEISTO JA KOEJÄRJESTELY	73
11.3.	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	73
12.	TUOTANTOLAITTEISTOLLA TEHTY SARJA 2.....	76
12.1.	MATERIAALIT	76
12.2.	LAITTEISTO JA KOEJÄRJESTELY	76
12.3.	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	77
12.3.1.	<i>Toimimattomat materiaalit.....</i>	<i>77</i>
12.3.2.	<i>Puristus ja ajonopeus.....</i>	<i>78</i>
12.3.3.	<i>Lämpötilan vaikutus.....</i>	<i>79</i>
13.	TULOSTEN LUOTETTAVUUDEN ARVIOINTI.....	81
14.	KOKEELLISEN OSAN JOHTOPÄÄTÖKSET.....	82
15.	YHTEENVETO.....	84
16.	LISÄTUTKIMUSTEN TARVE.....	86
VIITTEET	87

Kirjallisuusosa

1. Johdanto

Nykyään pakkauksissa ja painotuotteissa käytetään erilaisia optisia efektejä niin turva- kuin huomiotekijöinä. Kaikkein tunnetuimpia näistä optisista efekteistä ovat erilaiset hologrammiefektit. Ne, kuten valtaosa muistakin optisista efekteistä, perustuvat diffraktiivisen optiikan käyttöön.

Tässä työssä tutkitaan optisen efektin toistamista painetulla pinnalla olevaan suojalakka-kerrokseen puristuksen ja lämmön avulla. Painoalustana käytetään pääasiassa päällystettyä painopaperia, joissain kokeissa myös metalloitua paperia. Tutkittava optinen efekti on näkyvällä valolla toimiva diffraktiivinen hilakuvio, joka hajottaa valon aallonpituuksien mukaan.

Työn tavoitteena on selvittää ja dokumentoida vaikuttavia tekijöitä toistettaessa hilaa paperille tehtyyn painopinnan suojalakkaan sekä tutkia joidenkin graafisten materiaalien sopivuutta tekniikkaan. Osa kokeista on tehty Paperitekniikan laboratoriossa olevalla MTS-laitteistolla ja osa kirjapainolaitteistoilla. Koska tekniikka on uusi, ovat käytetyt laitteistot niin tuotannossa kuin mittauksissakin vielä vakiintumattomia. Työssä on puututtu myös käytettävään mittaustekniikkaan ja sen luotettavuuteen.

Kirjallisuusosassa käydään läpi perusteet diffraktiivisesta optiikasta, paperin pinnankarheudesta ja kokoonpuristumisesta sekä painoväreistä eri painomenetelmissä. Lisäksi kirjallisuusosan puolella on esitetty löytyneitä arvioita kustannuksista.

2. Diffraaktiivinen optinen efekti

2.1. Perinteinen optiikka

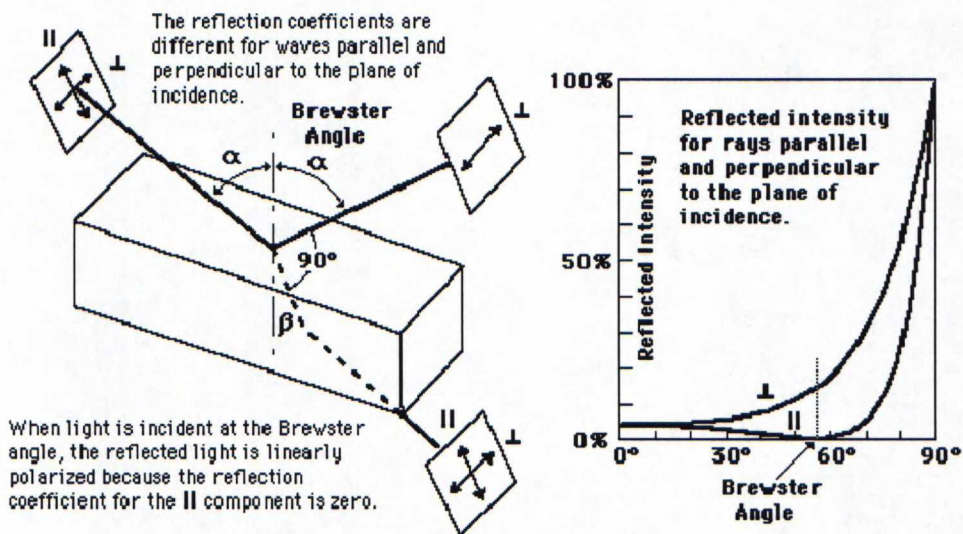
Optiikassa tutkitaan valon etenemiseen ja käyttäytymiseen liittyviä ilmiöitä. Perinteisesti optiikka jaetaan kahteen alueeseen, refraktiiviseen ja diffraktiiviseen optikkaan. Molemmissa tutkitaan valon etenemistä ja käyttäytymistä rajapinnalla.

Valon etenemisessä on kolme perussääntöä: suora eteneminen homogeenisessä väliaineessa, heijastuminen rajapinnoilla ja taittuminen ylitettäessä aalto-opillisesti erilaisien aineiden välinen rajapinta. Kaksi ensimmäistä näistä säännöistä on tunnettu jo antiikin ajoista alkaen, kolmannen säännön on löytänyt Willebrod Snell vasta 1600-luvulla. Optisilla rajapinnoilla tapahtuvaan taittumiseen perustuva optiikka tunnetaan refraktiivisena optiikkana. Tällaista optiikkaa ovat esimerkiksi linseissä ja prismoissa tapahtuvat ilmiöt. Hyvin suuri osa optisista systeemeistä perustuu valon heijastumiseen ja taittumiseen rajapinnoilla, mutta merkittäviä sovelluksia on myös valon taipumiseen perustuvalla diffraktiivisella optiikalla.

2.1.1. Peiliheijastus ja sironta

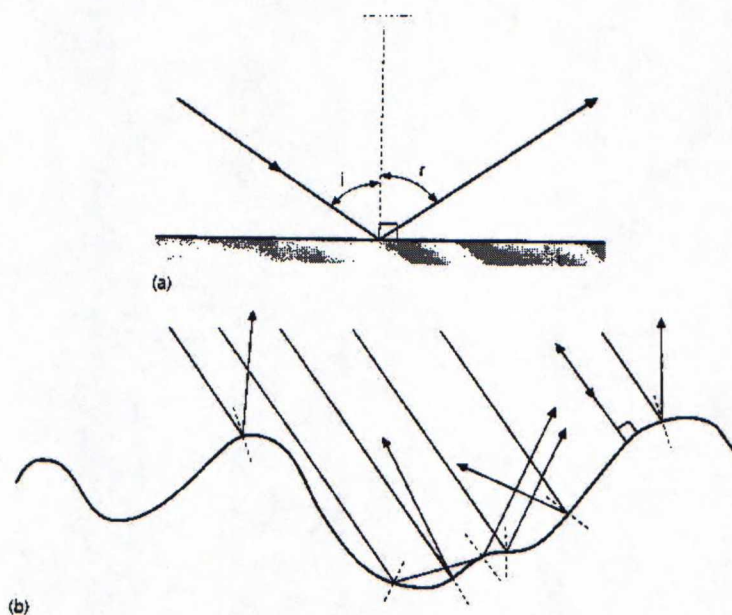
Kun valo osuu pinnalle, se heijastuu ja siroaa siitä. Pinnasta tapahtuva heijastuminen ja sironta vaikuttavat hyvin paljon esineiden ja materiaalien ulkonäköön. Heijastuminen määrää, onko pinta kiiltävä tai himmeä vai kimalteleeko se pisteittäin, sironta puolestaan korostaa esineen rajapintoja. Siroamista ja heijastumista tapahtuu myös pintakerrosta syvemmällä, jos materiaali on yhtään valoa läpäisevää.

Kun pinnalle osuu valoa missä tahansa kulmassa, osa siitä heijastuu pois. Peiliheijastus tapahtuu pinnasta poispäin samassa kulmassa kuin valo on tullut pinnalle, eli tuleva ja lähtevä säde muodostavat pinnalle normaalitason. Säteiden tulo- ja lähtökulma (α) määritetään pinnan kohtaamispisteen normaalin mukaan. Kuva 1 esittää miten, valon polarisaatiotaso muuttuu peiliheijastuksessa. Jos tulevan säteen aaltoliike on polarisoimatonta, niin heijastuva aaltoliike on polarisoitunut heijastuspinnan suuntaisesti. Jos siis tulevasta säteestä puuttuu heijastuspinnan suuntainen komponentti, ei heijastusta tapahdu, sillä heijastuvaa aaltoliikkeen komponenttia ei silloin ole.



Kuva 1. Heijastuminen ja taittuminen polarisaatiotasolla. /1/

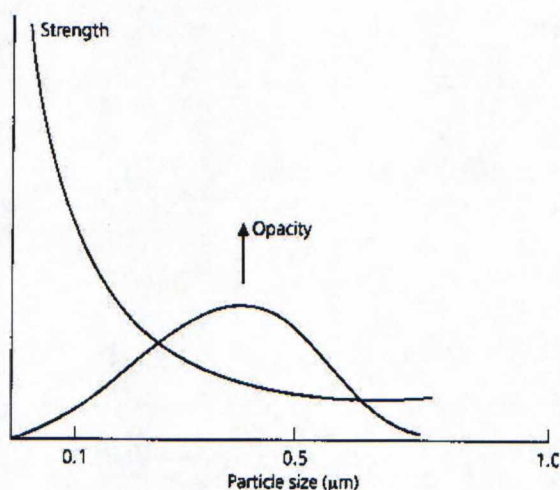
Epätasaisillakin pinnoilla tapahtuu peiliheijastusta, silloin vain pinnan normaalin suunta vaihtelee pisteestä toiseen. Kuva 2 esittää heijastumisen tasaisesta ja epätasaisesta pinnasta. Valon heijastumista tapahtuu myös paperin sisemmistä kerroksista, sillä paperin heikko valonläpäisy perustuu valoa heijastaviin pintoihin myös paperin sisällä.



Kuva 2. Heijastuminen a) tasaisesta ja b) epätasaisesta pinnasta. /2/

Valon heijastumista epätasaisella pinnalla ei pidä sekoittaa valon sirontaan, joka tapahtuu kaikkiin suuntiin. Sironta on ilmiö, joka syntyy, kun valo taipuu kohdatessaan esteen, jonka suuruus on aallonpituuden luokkaa. Sironta, kuten heijastuminenkin, tapahtuu niin paperin pinnasta kuin myös syvemmillä olevista rajapinnoista.

Opasiteetti mittaa valonläpäisemättömyyttä: mitä suurempia ovat heijastukset ja sironta materiaalin sisällä, sitä läpinäkymättömämpi materiaali on. Tutkittaessa musteen opasiteettia pigmenttien koon funktiona asettuu opasiteetin maksimi valon aallonpituuksien alueelle, noin kokoon 200...400 nanometriä (Kuva 3) /2/. Siitä molempiin suuntiin opasiteetti laskee huomattavasti. Painoväreissä värin opasiteetti ei ole kovin toivottavaa, sillä värin muodostuminen tapahtuu osavärien selektiivisen absorption avulla, jolloin kaikkien osavärien pitää olla näkyvillä.



Kuva 3. Musteen opasiteetti ja värin intensiteetti pigmenttikoon funktiona. /2

2.1.2. Tahtuminen rajapinnoilla

Valon suoraviivainen eteneminen ja käyttäytyminen rajapinnoilla on ollut melko hyvin tunnettua jo antiikin ajoilla. Niiden laskennallinen hallinta on kehittynyt vasta keskiajan jälkeen. Valon tahtuminen rajapinnoilla tunnetaan Snellin lakina: rajapinnan eri puolien taitekerrointen suhde on rajapintaan saapuvan ja lähtevän säteen kulmien sinien suhde. Laki kirjoitetaan yleensä muotoon

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta, \quad (1)$$

jossa α on säteen tulokulma (väliaineessa 1) rajapinnan normaalin suhteen, β säteen lähtökulma (väliaineessa 2) ja n_1 ja n_2 ovat väliaineiden taitekertoimet. Ainetta, jolla on suurempi taitekerroin, kutsutaan optisesti tiheämmäksi.

Kun valo kulkee optisesti tiheämmästä optisesti harvempaan aineeseen, se taittuu poispäin kohtaamispuolelta normaalia. Tässä kulkusuunnassa on mahdollista tapahtua kokonaisheijastuminen, jolloin valo taittuu rajapinnasta takaisin optisesti tiheämmän aineen puolelle. Kokonaisheijastumisen rajaehdona on, että

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha}{\sin 90^\circ} = \sin \alpha. \quad (2)$$

Kokonaisheijastuminen on oleellinen tekijä monessa optisessa järjestelmässä, sillä se mahdollistaa valonsäteiden siirron valokuiduissa ja muissa optisissa laitteissa.

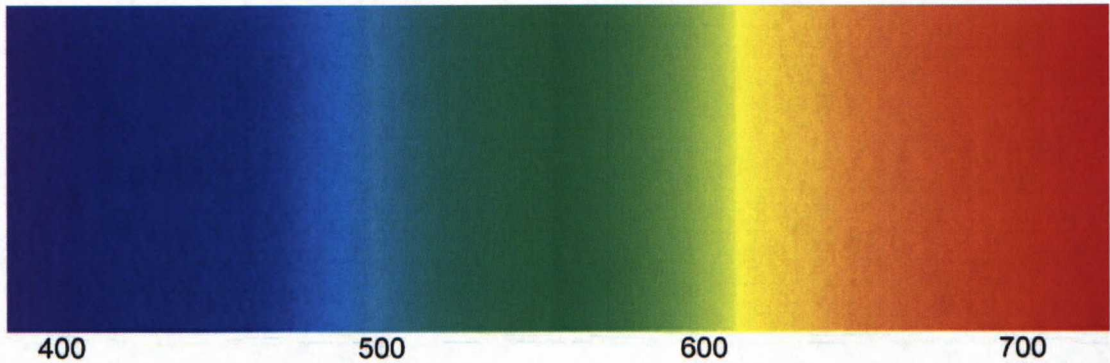
Kokonaisheijastumisella on osansa myös painopintojen lakkaamisessa. Jos lakka on optisesti tiheämpää kuin painoväri, osalle lakkakerrokseen päätyneestä valosta tapahtuu kokonaisheijastuminen, mikä on eduksi painopinnan läpinäkyvyydelle.

2.1.3. Värin muodostuminen

Ihmisen näkökyky perustuu valolle herkkien sauva- ja tappisolujen toimintaan. Sauvojen avulla aistitaan liike näkökentässä, kun taas tapit aistivat värejä. Tapit ovat kolmelle eri aallonpituudelle herkistyneitä, ja ne vastaavat sinistä, vihreää ja punaista aallonpituusalueita. Kun ihminen näkee eri värejä, osa tapeista reagoi ja aivoissa yhdistetään tieto eri aallonpituuksien tuottamista ärsykkeistä. Ihmisen aistima väri on valkea, jos kaikki tapit reagoivat. Koska ihmisen värinäkö perustuu vain kolmen aallonpituuden aistimiseen, on mahdollista tuottaa kaikki ihmisen aistimat värit keinotekoisesti kolmen osavärin avulla.

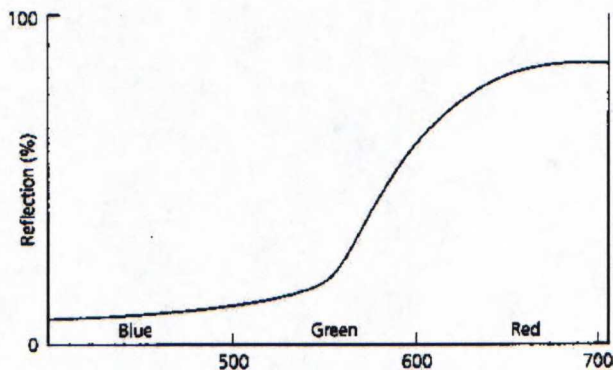
Valon värin muodostumiseen on kaksi tapaa, valon hajoaminen spektriin ja materiaalien selektiivinen absorptio. Spektristä saadaan erotettua puhdas väri, jossa on ainoastaan tiettyä aallonpituusalueita. Kuva 4 esittää visuaalisen värin sitä vastaavan aallonpituuden funktiona. Koska tämäkin kuva on toistettu keinotekoisesti, siinä ei ole puhtaita värejä. Luonnossa esiintyvistä väreistä osa perustuu aallonpituuksien erotteluun. Tällaisia ovat

esimerkiksi sateenkaaren värit (valon eri aallonpituuksien taittuminen vesipisaroissa) ja joidenkin lintujen höyhenten kimaltelu (valon diffraktio höyhenen pinnassa olevissa rakenteissa).



Kuva 4. Aallonpituus ja visuaalinen väri. /3/

Toinen tapa muodostaa väri on pinnoilla tapahtuva selektiivinen absorptio, jossa materiaali imee itseensä (lämmöksi) osan aallonpituuksista muiden aallonpituuksien heijastuessa. Painovärit perustuvat aallonpituuksien valikoivaan heijastamiseen. Millään materiaalilla ei päästä täysin ideaaliseen absorptioon, mikä tarkoittaa, että tapahtuu ei-haluttujen aallonpituuksien absorptiota. Tällä tavalla syntyvässä värissä on mukana monia muitakin aallonpituuksia, jolloin väri ei ole täysin puhdas.

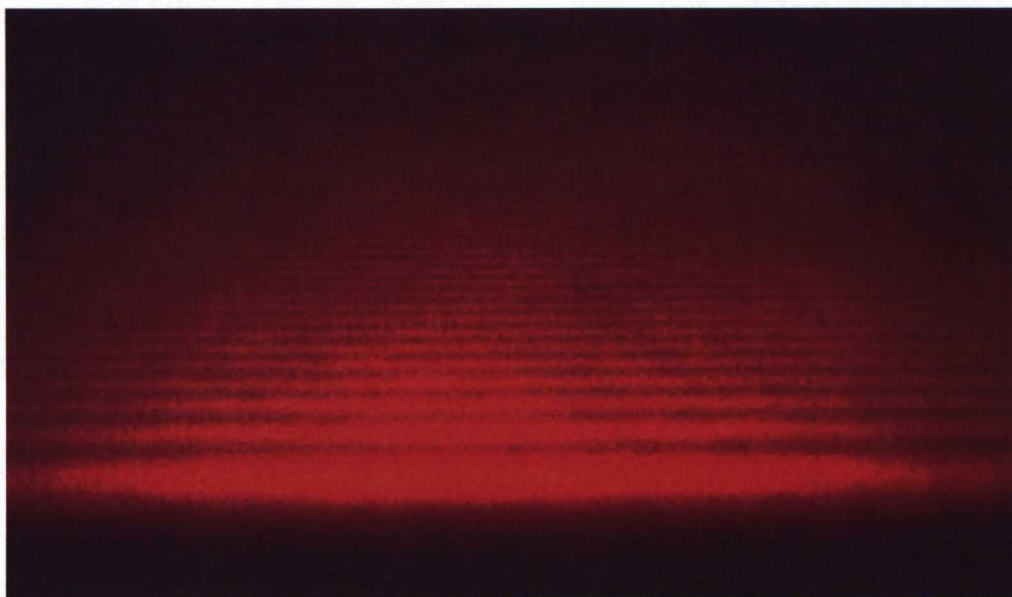


Kuva 5. Oranssin pinnan absorptiokäyrä /2/

2.2. *Diffraktiivisen optiikan perusteet*

2.2.1. Diffraktio

Diffraktio on termi, jota käytetään valon ja kiinteän esteen välisen vuorovaikutuksen kuvaamiseen [2]. Diffraktio on seurausta aaltoliikkeen perusominaisuudesta, joka tunnetaan Huyhensin periaatteena¹: "Jokaista aaltorintaman pistettä voidaan pitää uuden alkeisaallon syntymäkohtana ja näiden alkeisaaltojen muodostamaa tangenttipintaa voidaan käyttää uuden aaltorintaman paikan määrittämiseen." [4]. Tämän periaatteen mukaisesti valon tielle sattuvan esteen tai aukon välittömässä läheisyydessä valo ei kulje suoraviivaisesti vaan taipuu.

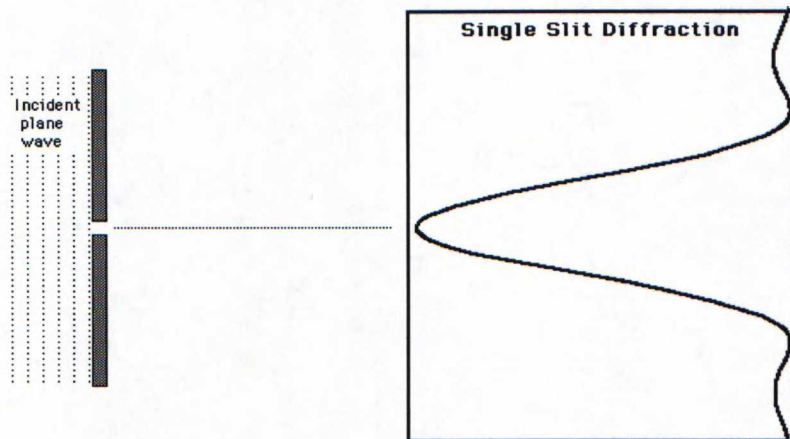


Kuva 6 Diffraktio esteen kohtaamisessa. Helium-neon-laserin valo ohjattiin ensin linssin läpi säteen levittämiseksi. Levitetty säde ohjattiin koneistettuun levyn reunaan. Diffraktiokuvio kuvattiin varjostimelta noin neljän metrin päästä. [5]

Kohdistamalla (monokromaattinen) valo sen aallonpituuden suuruusluokassa olevaan reikään saadaan varjostimelle syntymään kirkas piste, jota ympäröivät kirkkaat ja tummat ren-

¹ The principle that any point on a wave front of light may be regarded as the source of secondary waves and that the surface that is tangent to the secondary waves can be used to determine the future position of the wave front.

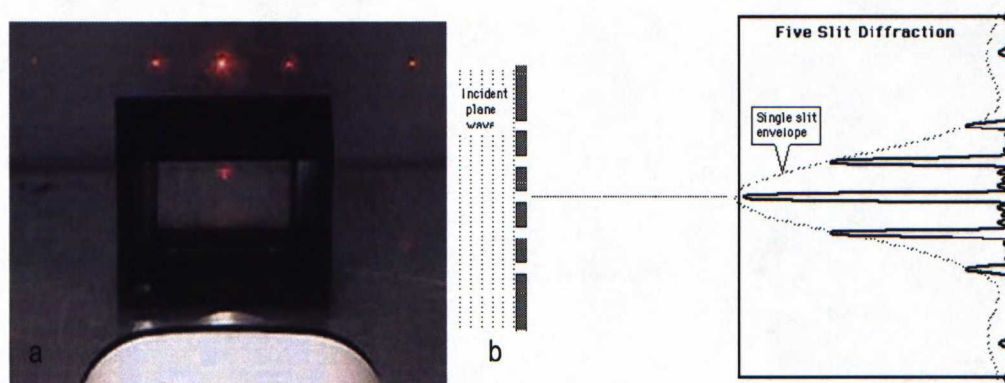
kaat, kuten kuva 7 esittää. Ympäröivien renkaiden intensiteetti ja leveys laskee, kun mennään kauemmas keskustasta.



Kuva 7. Diffraktio yhden aukon läpi. / 6/

2.2.2. Hilat

Kun aukkoja on useita lähekkäin, niiden tuottamat diffraktiokuviot ovat päällekkäin ja vaikuttavat toisiinsa, jolloin maksimit ja minimiit vuorottelevat, kuten kuvassa 8 on esitetty. Kun rakojen määrä kasvaa, muuttuvat diffraktiomaksimit ja -minimit terävämmiksi. Samoin rakojen kaventaminen parantaa diffraktiokuvion terävyyttä. Vastaavasti hilassa voi olla rakoja myös eri suuntiin, jolloin diffraktoitunut kuvio on ruudukko.



Kuva 8. a) Diffraktiomaksimit hilan läpi. Keskellä suoraan tuleva säde (nolla kertaluku) ja molemmilla sivuilla ensimmäinen ja toinen kertaluku /7/ ja b) periaatekuva viiden raon hilasta /6/

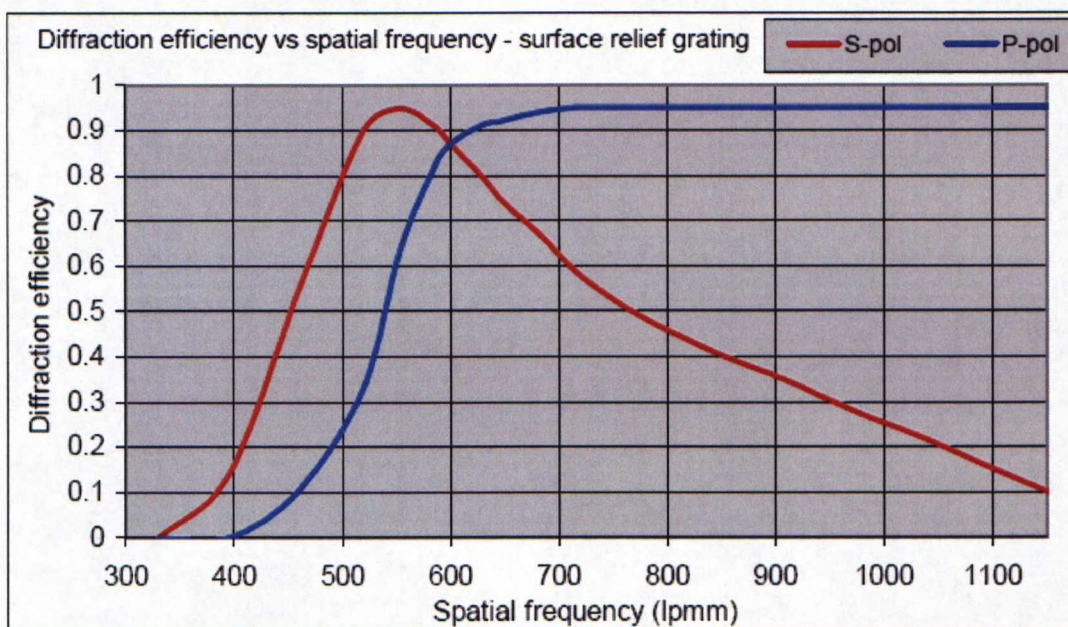
Valon aallonpituudella on vaikutus valon diffraktioon hilassa; niinpä hilassa voidaan esimerkiksi erottaa valkean valon eri aallonpituudet. Tämä on helppo havaita esimerkiksi katsomalla cd-levyn pintaa, jossa valkea valo jakautuu väreihin diffraktoituessaan levyn urissa (Kuva 9). Toisaalta myös hilan mitoilla on vaikutus, joten eri hiloissa eri aallonpituudet toimivat eri tehoilla.



Kuva 9. CD-levyn pinnalla valkea valo jakautuu väreihin.

2.2.3. Hilan tehokkuus

Hilan toimivuutta mitataan hilan tehona. Diffraktiivisen hilan tehoa mitattaessa verrataan diffraktiomaksimin tehoa hilaan tulevan säteen tehoon. Tähän mittaukseen vaikuttaa moni seikka, joten mitatut tehot eivät ole vertailukelpoisia keskenään kuin täysin toisiaan vastavissa olosuhteissa. Pelkkään teoriassa saavutettavaan hilatehoon vaikuttavat käytettävän valon aallonpituus, hilan mittasuhteet (hilavakio eli montako viivaa millimetrillä ja hilan syvyys), pintakerroksen taitekerroin ja valon polarisaatiotaso suhteessa niin hilan kohtauskulmaan kuin hilan suuntaankin. Kuva 10 esittää polarisaation vaikutusta hilan tehoon eri hilavakion arvoilla. Käytettävä hila on mitattu samalla aallonpituudella, jolle hila on suunniteltu.



Kuva 10. Polarisaatiotason vaikutus diffraktiotehoon hilavakion funktiona. Hila on tehty 1500 nm aallonpituudelle ihanteelliseksi ja mittaus tehty samalla aallonpituudella. S-polarisaatiotaso on määritetty hilan tasoa vastaan kohtisuoraksi ja p-polarisaatiotaso on tason suuntainen /8/.

Muita hilan tehokkuuden mittausta häiritseviä tekijöitä voivat olla pinnan epätasaisuudesta aiheutuvat häiriöt maksimin tarkkuudessa, sellaiset mitattavalla pinnalla olevat kohdat, joissa hila ei ole toistunut, hilan pinnasta tapahtuva heijastuminen ja siroaminen sekä pinnan väri (kuinka paljon mittauksessa käytettävästä aallonpituudesta absorboituu pinnalle). Jokaisella pinnalla on oma absorptiospektrinsä, joka määrää, minkä värinenä pinta näkyy. Kun puhutaan diffraktiivisesta hilasta, joka on tehty painovärin pinnassa olevaan lakkakerrokseen, on muistettava myös alla olevien kerrosten rajapintojen tuomat heijastukset, sironnat ja absorptiot.

2.3. *Diffraktiivisen optiikan käyttökohteet*

Diffraktiivista optiikkaa käytetään moniin tarkoituksiin. Osa käyttökohteista on puhtaasti visuaaliseen ulkonäköön perustuvia, toiset puolestaan hyvin teknisiä käyttökohteita.

Diffraktiivisen optisen efektin visuaalisuuteen perustuvia käyttökohteita ovat muun muassa hologrammitarrat ja vastaavat optiset efektit. Näitä käytetään paitsi pelkän visuaalisen huomion herättämiseen myös erilaisissa turva- ja aitousmerkinnoissa. Maailmanlaajuisesti

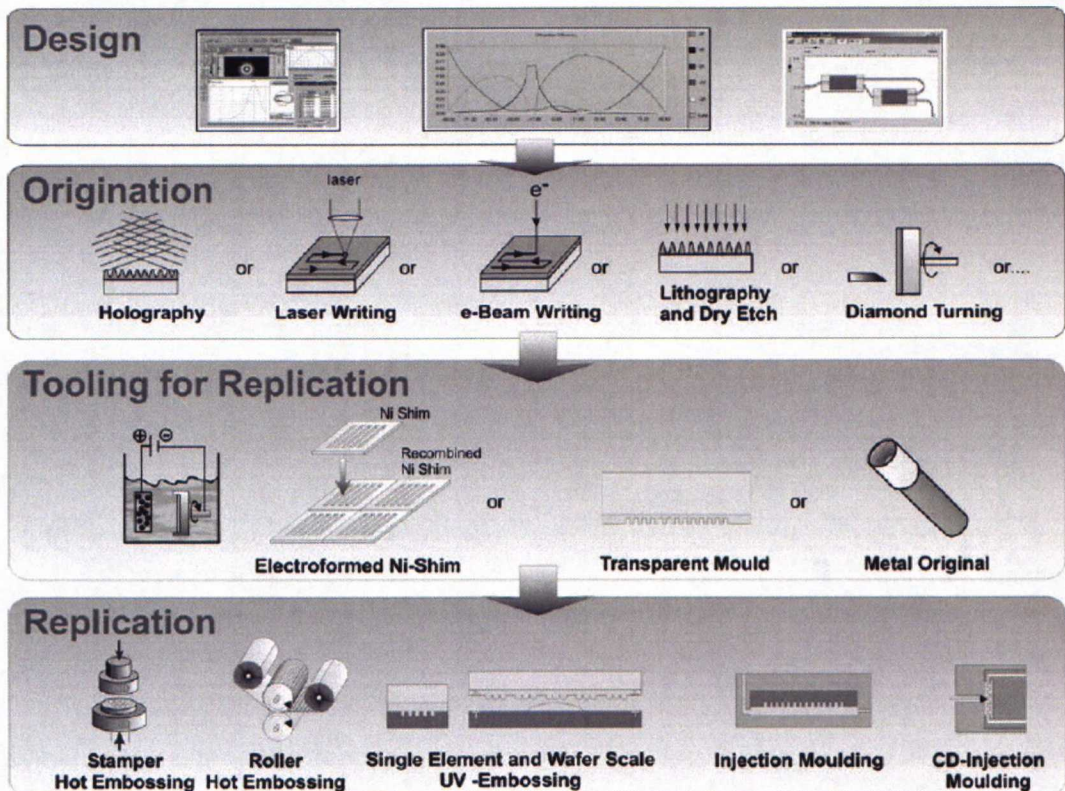
tuoteväärännöksillä ja tuotteiden kulkeutumisella kanaviin, joihin niitä ei ole tarkoitettu, on hyvin suuri taloudellinen vaikutus niin tuotteiden oikeuksien omistajille kuin kuluttajille ja yhteiskunnallekin.

Teknisiä käyttökohteita ovat erilaiset optiset laitteistot, joissa halutaan, esimerkiksi alkuaineiden emissiospektrejä tutkittaessa, hajottaa valo spektrin väreihin tehokkaammin kuin prismalla on mahdollista. On myös paljon muita sovelluksia, joissa on tarpeen erotella säteilyn aallonpituudet toisistaan, kuten telekommunikaatio, optiset signaalit ja optoelektronikka.

2.4. *Diffraktiivista hilaa monistavat systeemit*

Diffraktiivista optiikkaa, kuten muitakin mikrorakenteita, monistavat systeemit ovat kiinnostavia monesta syystä. Niillä on mahdollista tuottaa edullisesti optisia elementtejä tai muita mikrokomponentteja, joissa on huomattavan suuri tarkkuus. Esimerkiksi kuumaembossauksella tai injektiovalulla on mahdollista saavuttaa varsin yksinkertaisesti jopa alle 100 nanometrin viivatiheys /10/. Ne tarjoavat myös valinnanvaraa käytettävän profiilin suhteen. Muotin valmistaminen kallistuu nopeasti tehtävän kuvion monimutkaistuessa, mutta itse kuvion tekemiseen kopiointiprosessissa kuvion monimutkaisuudella ei ole paljoa vaikutusta /9/. Kuva 11 esittelee eri tekniikoita diffraktiivisen hilan toistamiseen.

Kuten voidaan nähdä, on kaikkien vaiheiden tekemiseen tarjolla monia tekniikoita. Originaalin valmistamiseen valittavan tekniikan sanelee pääasiassa haluttu tarkkuus. Alle 100 nanometrin tarkkuuteen päästään lähinnä elektronisäteellä tai holografisella litografialla (laservalotus hilan läpi). Originaalin materiaalilla ei ole yleensä suurta merkitystä, sillä seuraava askel on kopioiden tuottaminen monistusta varten (kuvassa *tooling for replication*). Tässä kohtaa valittavan tekniikan määrää se, mihin materiaaliin kopiot on tarkoitus tuottaa.



Kuva 11. Diffraktiivisen hilan toistossa käytettäviä tekniikoita /9/.

Usein monistuksessa käytettävien muottien valmistuksessa käytetään elektrolyysiä /10/. Tällöin originaalin pinnan tulee olla sähköä johtava. Jos näin ei ole, pintaan tehdään hyvin ohut metallikerros kullasta tai hopeasta sputteroimalla, höyrystämällä tai jollakin muulla tapaa. Tämän kerroksen päälle muodostetaan elektrolyyttisesti nikkelikerros, joka irrotetaan originaalista. Tämä nikkelilevy on kestävä negatiivikopio varsinaisesta kuviosta. Suunnitellusta käytöstä riippuen levy voi olla jopa 100 mikrometriä paksu.

Kun monistusta varten on tehty muotti haluttuun formaattiin, on itse kopioiden tuottaminen varsin helppoa. Perustekniikoita on kolme: kuumaembossaus, UV- (tai muulla säteilyllä kovettuva) embossaus ja ruiskuvalu. Kuumaembossaus tehdään yleensä polymeerikalvoille tai metalloiduille kalvoille, ruiskuvalua käytetään myös polymeereille, kun taas ultra-violetilla valolla tai elektronisäteellä kovettuvat materiaalit ovat usein piyhdistettä. Toki

muottiin kovettavallakin tekniikalla on paljon sovelluksia muiden polymeerien parissa, niin orgaanisten kuin epäorgaanistenkin /9,10/.

Kuumaembossaus perustuu materiaalien muokkautuvuuden muutokseen lämmitettäessä. Keskeisimmät lämpötilarajat ovat kiehumispiste ja sulamispiste, joissa tapahtuvat olomuodonmuutokset. Näiden lisäksi osalla materiaaleista on myös lasipiste, jota korkeammissa lämpötiloissa materiaali on edelleen kiinteässä olomuodossa, mutta pysyviä muodonmuutoksia on mahdollista saada aikaan murtamatta rakennetta. Lasipisteen ja sulamispisteen välisellä alueella materiaali on muokattavissa esimerkiksi puristamalla, ja näin saadun kuvion pysyvyys riippuu käytetystä ajasta, voimasta ja lämpötilasta.

Mahdollisia tuotantoformaatteja kopioiden tuottamisessa on monia, lopputuotteen materiaalin ja ominaisuuksien mukaan. Kovetteiset tekniikat (UV-embossaus ja ruiskuvalu) tuotetaan yksittäisinä kopioina suoraan johonkin osaan tuotetta, kun taas kuumaembossaus voidaan tehdä joko suoraan tuotteeseen tai erilliseksi lisättäväksi tarraksi tai pinnoitteeksi, jolloin sen valmistamisessa voidaan käyttää myös nopeampaa ja yleensä massatuotantona halvempaa rullalta rullalle -prosessia.

Erikoisuutena diffraktiivisten hilojen toistamisessa voidaan mainita kolikoihin tehdyt holografiset efektit, joissa tavoitteena on puhdas huomioarvo. Tällaisia kolikoita on valmistettu ainakin Australiassa, Yhdysvalloissa ja Hollannissa. Hila, joka synnyttää efektin, on tehty lyömällä se hilalevyllä jo muotoonsa lyötyyn kolikkoon /11/.

3. Paperin muokkaaminen puristamalla

3.1. Paperin pinnanmuodot

Karheus voidaan määritellä poikkeamana pinnan ideaalitasosta. Pintaa mitattaessa yleensä mitataan sileyttä, jota voidaan pitää karheuden vastakohtana. Paperin karheus voidaan jakaa kolmeen luokkaan: makrokarheus, mikrokarheus ja optinen karheus /12/. Näiden yhteissummasta muodostuu paperin karheus. Karheudelle itsessään ei kuitenkaan ole olemassa varsinaista mittalukua. Sen sijaan profiilille on useita erilaisia mittalukuja.

Makroskooppisen, mikroskooppisen ja optisen karheuden suhdetta havainnollistaa /13/. Makroskooppisen karheuden suuruusluokka on yli 100 mikrometriä, mikroskooppinen karheus on välillä 1...100 mikrometriä, ja mikroskooppinen karheus on alle 1 mikrometrin luokassa.



Makrokarheus (100 μm \rightarrow) – formaatio



Mikrokarheus (1 μm \rightarrow 100 μm) – kuidut



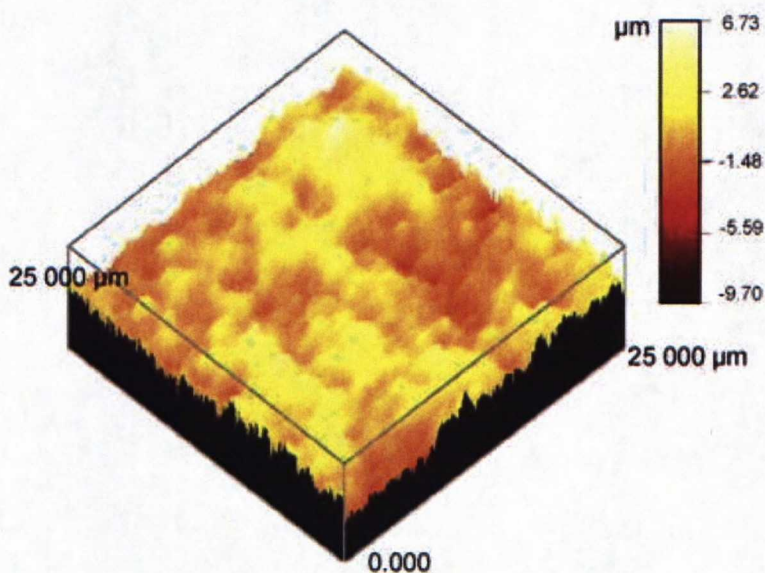
Optinen karheus (\rightarrow 1 μm) – pigmentti

Kuva 12. Karheuden komponentit /13/.

Optinen karheus on samassa suuruusluokassa valon aallonpituuden kanssa, joten se voi aiheuttaa valon diffraktiota, mikä vaikuttaa pinnan kiiltoon. Optisen karheuden syyt ovat kuitujen ja täyteaineiden rakenteessa tai pigmenttipartikkeleiden (niin päällysteen kuin painovärinkin) pakkautumisessa.

Mikroskooppinen ja makroskooppinen karheus vaikuttavat valon heijastumiseen eri suuntiin paperin pinnasta ja siis kiiltoon ja kiillon tasaisuuteen. Mikroskooppisen karheuden syyt ovat kuituverkon yksittäisten kuitujen ja päällysteen muodostumisessa ja pakkautumisessa. Makroskooppisen karheuden syyt ovat kuituverkon muodostumisessa. Makroskooppinen ja mikroskooppinen karheus vaikuttavat nippikontaktiin yhdessä kokoonpuristuvuuden kanssa.

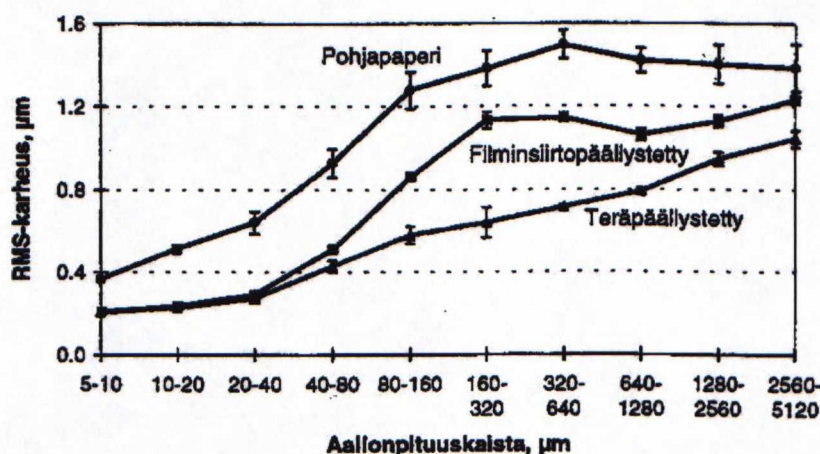
Koska paperi on kuiturakenteinen, on sen pinnassa monesti erimittakaavaisia epätasaisuuksia ja pintahuokosia. Pintahuokosten koko on muutamista mikrometreistä aina kymmeniin mikrometreihin millimetrien alueella. Paperin pintahuukosilla on merkitystä myös päällystekerroksen kiinnittymisessä ja pohjapaperin peittävydessä. Paperia päällystettäessä tavoitteena on saada tasainen pinta ja samalla myös paperin pinnan huiput päällysteen alle. Päällystetynkin paperin epätasaisuus on edelleen useita mikrometrejä (Kuva 13).



Kuva 13. Pintatopografia teräpäällystetystä LWC-paperista 25 mm *25 mm alueelta /14/.

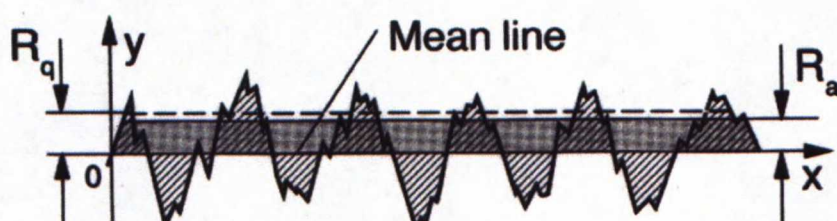
Käytettävästä päällystystekniikasta riippuen päällystekerros joko täyttää paperin huokoset varsin hyvin mutta jättää huiput paljaaksi tai hyvin vähälle päällysteelle tai sitten antaa ta-

saistemman päällystekerroksen koko paperin alalle ja peittää vajaasti huokoset (Kuva 14). Teräpäällystys on tyypillinen tekniikka, jossa päällystekerros ei ole tasainen ja pohjan hui-put voivat olla kokonaan ilman päällystettä. Filminsiirto- ja valupäällystys tuo paperille ta-saistemman kerroksen päällystettä.



Kuva 14. Päällystysmenetelmän vaikutus LWC-paperin karheuteen eri aallon pituuksilla /13/.

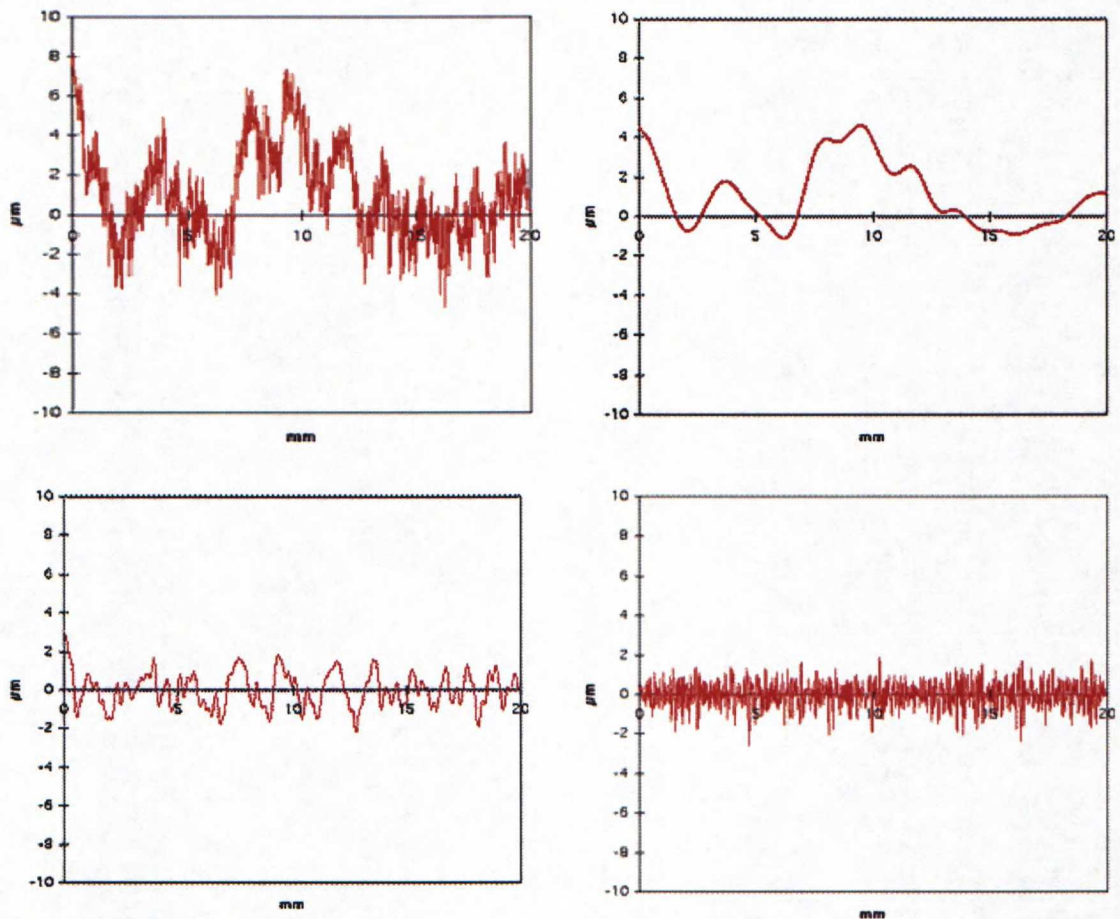
Karheusprofiilin mittasuureissa käytetään R-kirjainta kaksikulotteisia mittauksia ja S-kirjainta kolmiulotteisia mittauksia käsiteltäessä /15/. Yleisimpiä ovat pinnan profiilin keskipoi-keama (profiilin neliöllinen keskipoiikkeama R_q ja profiilin keskipoiikkeama R_a (Kuva 15), profiilin vinous R_{sk} , profiilin huipukkuus R_{ku} ja profiilin kantokäyrä.



Kuva 15. Profiilin neliöllinen keskipoiikkeama R_q ja profiilin keskipoiikkeama R_a /16/.

Karheusprofiili /14,17/ voidaan jakaa kokonaiskarheuden mukaan eri aallonpituuksiin. Kuva 16 esittää jakoa eri aallonpituuksiin. Suuriaaltoisin karheus aiheutuu kuitukimpuista (formaatio), ja sen aallonpituutena pidetään yli 2,5 mm:ä. Keskiaaltoinen karheus aiheutuu yksittäisistä kuiduista, ja sen aallonpituus on luokassa 300 μm...2,5 mm. Hienoaines ja

päällysteen pigmenttien aiheuttama lyhytaaltainen karheus on aallonpituuksilla alle 300 μm . Jako on lähes sama kuin optisen, mikro- ja makrokarheuden välillä.

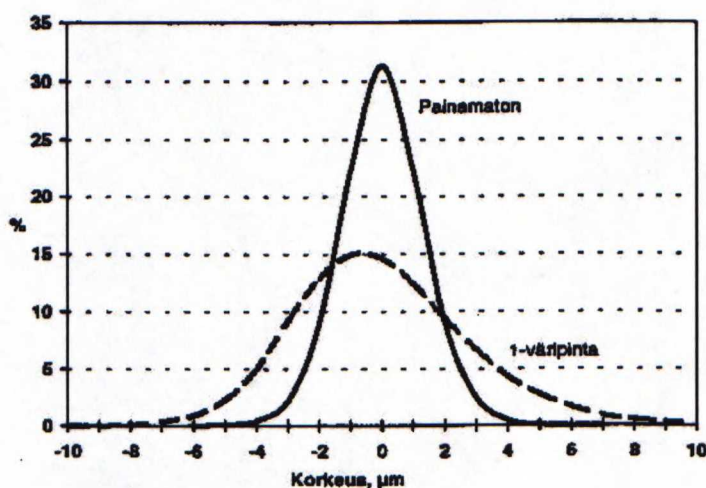


Kuva 16. Laserprofilometriakuva pinnan epätasaisuudesta ja sen jako eri aallonpituuksiin. /14/

Päällystämättömän paperin pinnan karheus on useiden mikrometrien suuruista pienelläkin alalla. Vaikka päällyste ja painomuste tasoittavat näitä epätasaisuuksia, on epätasaisuus edelleen mikrometrien suuruusluokassa.

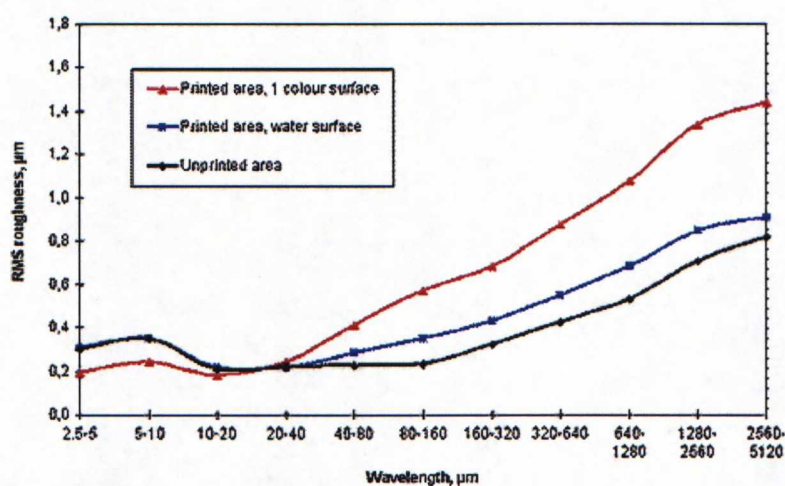
Heatset-offsetpainetuilla LWC-papereilla on havaittu pinnan silenemistä alle 20 mikrometrin aallonpituuksilla. /13,14/ Tämä johtunee painovärin toimimisesta tasoitteena päällysteen pintakerroksessa olevissa epätasaisuuksissa. Yhden täyspeitteisen mustekerroksen paksuus offsetpainossa on kuitenkin vain noin yksi mikrometri, joten sen tasoittava vaikutus ei ulotu muualle kuin pienimpiin aallonpituuksiin. Kuva 17 esittää yhden

HSWO-painovärikerroksen vaikutusta pinnankorkeusjakaumaan. Siitä voidaan huomata, että painetulla pinnalla mustekerros on ilmeisesti tasoittanut juuri pienimpiä epätasaisuuksia.



Kuva 17. HSWO-painatuksen vaikutus LWC-paperin pinnankorkeuden jakaumaan alle 1 mm aallonpituuksilla /13/.

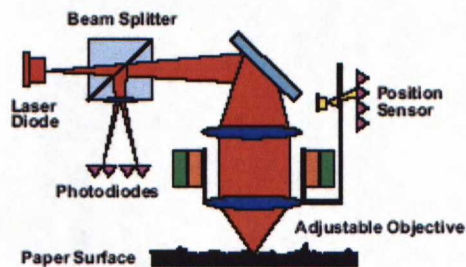
Kuva 18 voi havaita, että painetut alueet ovat suurilla aallonpituuksilla karheampia kuin painamattomat tai pelkkää kostutusvettä saaneet alueet. Syynä tähän ilmiöön pidetään musteen liimamaisuutta: kuitujen pinnassa oleva muste estää kuivuessaan niiden palautumisen takaisin lähelle alkuperäistä sileyttä.



Kuva 18. Heatset-offsetpainetun LWC-paperin pinnan karheuden muutokset eri aallonpituuksilla. /14/

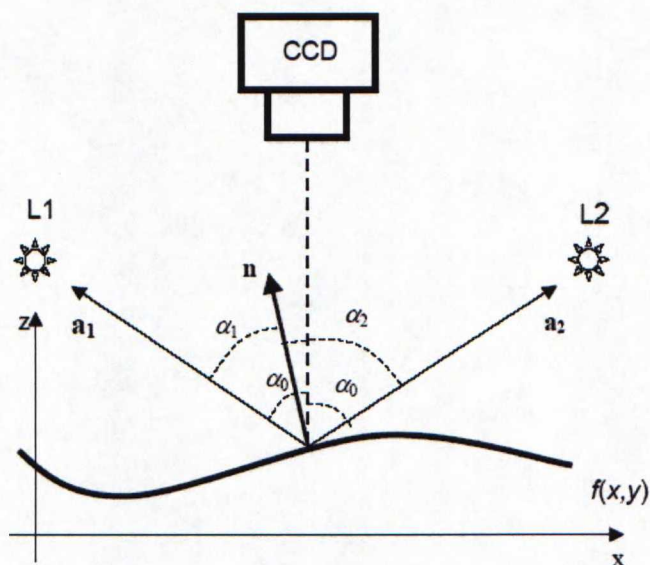
Karheuden optisia mittaamenetelmiä on useita, muiden muassa valkoisen valon interferometria /13/ laserprofilometria /14/ ja STFI:n kehittämä OptiTopo-laite /18/. Näillä laitteilla saadaan kolmiulotteinen kuva paperin pinnasta ilman kontaktia paperin pintaan. Valkoisen valon interferometrissa mitataan näytteen pinnasta heijastuvan säteen ja referenssisäteen interferenssiä. Tapa on nopea, ja sillä on mahdollista tutkia suuriakin alueita kerralla.

Lasertopografiassa halkaisijaltaan 1 μm lasersäde tarkennetaan paperin pintaan ja paperin pinnan etäisyys saadaan määritettyä tarkennetun järjestelmän polttovälistä. Kuva 19 on lasertopografialaitteiston periaatekuva. Järjestelmällä voidaan mitata pintaprofiili joko xy-tasossa olevilta alueilta tai vaihtoehtoisesti tutkia jopa useiden kymmenien millimetrien pituisia linjamittauksia. Mittaus ei ole yhtä nopea kuin valkoisen valon interferometria.



Kuva 19. Periaatekuva laserprofilometriasta /14/.

OptiTopo-laitteessa mittaus perustuu näytteen valaisemiseen kahdelta suunnalta. Koska valon paikka, suunta ja intensiteetti tunnetaan, on mahdollista laskea pinnan topografia syntyneistä varjoisista ja valoisista alueista. OptiTopolla tehdyissä tutkimuksissa syväpainetuista papereista on löydetty korrelaatio puuttuvien pisteiden ja pinnan topografian välillä /18/.



Kuva 20. Opti-Topo-menetelmässä kohde valaistetaan kahdelta suunnalta ja pintatopografia määritetään niiden avulla. L1 ja L2 ovat valonlähteet, n on pinnan normaali ja α_1 ja α_2 ovat valaistuslähteiden valon kohtaamiskumat pinnalle. Vastaavasti määritellään katsomiskulmat α_0 molemmille valonlähteille. /18/

Huono formaatio aiheuttaa paperin rakenteen ja pintaominaisuuksien pienimittakaavaista vaihtelua. Formaatio ei vaikuta suoraan painojäljen laatuun, vaan se vaikuttaa muun muassa pinnan karheuteen ja huokoisuuteen sekä kokoonpuristuvuuteen, joilla kaikilla on merkitys painojälkeen.

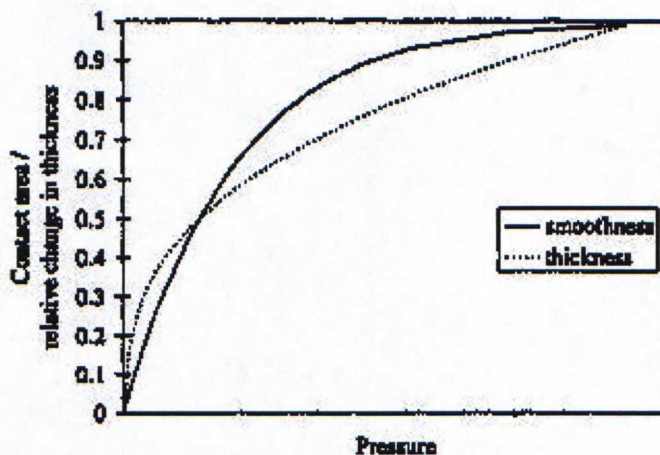
3.2. Kokoonpuristuvuus

3.2.1. Paperin kokoonpuristuminen

Paperia puristettaessa ohentuminen tapahtuu ensin nopeasti ja epälineaarisesti, mutta suuremmilla paineilla ohentuminen hidastuu ja muuttuu lineaariseksi /19/. Schaffrath ja Götsching esittivät 1991 /20/ paperin kokoonpuristuvuudelle mallin, jossa paperi jaettiin kolmeen kerrokseen eli kahteen pintakerrokseen ja niiden väliseen runkoon. Kuhunkin näistä kerroksista käytetään tässä mallissa Hooken lakia laskien pinta-alana vain alue, joka kantaa kuorman (paperin huokoisuuden ja pinnanmuotojen vuoksi kuormaa kantava ala eroaa puristettavasta alueesta). Paperin kokoonpuristuminen esitettiin mallissa näiden kerrosten kokoonpuristumisten summana.

Paperin viskoelastisen luonteen takia puristuksessa tapahtuva palautuva kokoonpuristuminen jakautuu elastiseen ja viskoelastiseen komponenttiin. Elastinen komponentti syntyy puhtaasti pintaan vaikuttavasta paineesta, kun taas viskoelastiseen komponenttiin vaikuttaa myös puristushistoria. Näiden osuus puristusmuodonmuutoksesta vaihtelee puristusajan mukaan, pidemmillä puristuksilla viskoelastisen muodonmuutoksen osuus kasvaa. /21/

Kuva 21 nähdään kuvaaja paperin kontaktialasta ja paksuuden muutoksesta puristuksessa. Heti puristuksen alussa saavutettu kontaktiala on elastisesta muodonmuutoksesta syntynyttä. Kun puristusaika kasvaa, kontaktiala lisääntyy viskoelastisen kokoonpuristumisen myötä /21/. Puristettaessa paperia tapahtuu myös palautumatonta (plastista) muodonmuutosta.



Kuva 21. Kontaktipinta ja kokoonpuristuminen paineen funktiona. Alussa paksuudenmuutos on suurempaa kuin kontaktipinnan muutos. /21/

Paperia puristettaessa (esimerkiksi painonipissä tai hilalevyä vasten) kontaktipinta riippuu pinnan tasaisuudesta ja puristuksen aikaansaamasta tasoittumisesta paperin pintakerroksessa. Tätä voi kuvata tilanteella, jossa vierekkäin asetettuja eripituisia jousia puristetaan levyllä. Pidemmät jouset alkavat puristua, kun lyhyemmät ovat vielä vailla kontaktia puristavaan pintaan. Kun puristus kovenee, joutuu yhä suurempi osa jousista kosketuksiin tason kanssa. Kuten kuvassa voidaan nähdä, on pienillä puristuksilla paksuuden muutos suurempaa kuin suhteellisen kontaktipinta-alan (Kuva 21).

Puristuksessa suurimmat muodonmuutokset tulevat luonnollisesti paksuimmille kohdille. Painatuksessa pinnan kokoonpuristuvuudella on suurempi merkitys kuin paperin koko tilavuuden muutoksella puristuksessa. Hyvä pinnan kokoonpuristuvuus korvaa paperin sileyttä painatuksessa.

Päällyste vaikuttaa paperin kokoonpuristuvuuteen. Puristuspainetta kasvatettaessa elastinen kokoonpuristuminen tapahtuu luonnollisesti ensin siinä osassa, missä kimmokerroin on pienin. Jos paperin päällyste on tiivis ja pohjapaperi huokoinen, puristuu pohjapaperi ensin kasaan. Vanhojen tutkimusten mukaan painopapereilla päällysteen merkitys puristusmuodonmuutoksissa tulee vasta suurilla puristuspaineilla. /22/

3.2.2. Kokoonpuristuvuuden mittaustapoja

TKK:n viestintäteknikan laboratoriossa on 1990-luvulla kehitetty laitteisto dynaamisen kontaktisileyden mittaamiseen. Laitteisto oli rakennettu kiinni laboratoriomittakaavaiseen koepainokoneeseen. Siinä näytettä valaistiin stroboskoopilla lasitelan läpi ja kuva talletettiin videolle. Talletetuista kuvista porrastettiin mustavalkokuvat, joissa kontaktissa olevat alueet näkyivät valkeina ja ilman kontaktia olevat alueet mustina. Ikävä kyllä laitteistoa ei enää ole. /15, 23/

AKTU-kokoonpuristuvuus /24/ mittaa alueelta, jonka halkaisija on 10 tai 25 mm. Pienemällä pinta-alalla päästään noin 50 MPa:n puristusjännitykseen, suuremmalla noin 12 MPa:n puristukseen. AKTU-laitteistossa mittaus tapahtuu puristamalla kahden levyn välissä näytettä, jolloin saadaan tietoa muun muassa kokonaismuodonmuutoksesta, plastisesta muodonmuutoksesta ja paksuuden palautumisesta puristuksen jälkeen. Muodonmuutos voidaan helposti jakaa elastiseen ja plastiseen komponenttiin. Myös mittaolosuhteisiin vaikuttaminen on mahdollista säätämällä lämpötilaa ja kosteutta.

Local contact and stress analyzer (LCSA) -laitteistossa analysoidaan pienimittakaavaista kokoonpuristuvuuden vaihtelua. Laitteessa näyte puristetaan puristusherkän filmin päällä. Filmin väriaihtelut tallennetaan harmaasävykuvana, josta voidaan analysoida kontaktialueita. Laitteen erotuskyky on 5,6 μm . /25/

Innoweb GmbH /26/ on kehittänyt kartongin pienimittakaavaisen kokoonpuristuvuudenmittauslaitteen. Laitteessa tutkitaan samaa kohtaa ohuella neulalla (1...5 µm) kolme kertaa. Ensimmäisellä puristuksella painetaan pienellä voimalla, jolloin saadaan alkuperäinen paksuus (ja pinnanmuodot, kun tehdään useita mittauksia). Toinen puristus tehdään voimakkaasti, puristusvoima voidaan valita väliltä 1...100 mN. Tällä puristuksella mitataan näytteen kokoonpuristuvuus. Kolmas puristuskerta tehdään taas kevyesti, jolloin mitataan saatu pysyvä muodonmuutos.

3.3. *Embossaus (debossaus)*

Englannin sana *emboss* tarkoittaa perusmerkityksessään pinnan muotoilua kohokuvioilla². Termi ei ota kantaa siihen, miten kohokuviot tehdään. Suomen kielessä käytetään sanoja *embossaus* ja (taso)preeglaus³, joilla ymmärretään yleensä paperin tai kartongin pintaan puristamalla tehtäviä kohokuvioita. Suomen kielessä *preeglaus* on käytetympi termi kaikesta kohokuvioinnista, kun taas muissa kielissä *preeglaamisen* ja *embossaamisen* erona pidetään toistettavan kuvion pintarakennetta. *Preeglaus* käsitetään yleensä enemmän tasomaiseksi kuvioksi, kun *embossauksessa* on yleensä käytetty kolmiulotteista pintaa. Joskus käytetään myös termiä *debossaus*, jolla tarkoitetaan alkuperäistä pintaa alempana olevan pintarakenteen tekemistä.

Embossaus tehdään puristamalla paperia tai kartonkia molemmilta puolilta muotilla, jonka toisella puolella kuvio on negatiivisena ja toisella puolella positiivisena. On mahdollista, että toinen muoteista on vain kokoonpuristuvaa materiaalia ilman mitään kuviota. Tuotantofo-

²: 1. *trans.* To cause to bulge or swell out, make convex or protuberant; to cover with protuberances. In modern use chiefly *transf.* from 2 or 3.

b. fig. to emboss (out): to inflate (style), render tumid; to give exaggerated prominence to.

c. intr. To bulge, be convex. *Obs. rare.*

2. spec. To carve or mould in relief; to cause (figures, part of a wrought surface) to stand out, project, or protrude. Also *fig.* The earliest and the prevailing mod. sense. [So Fr. *imbocer* (Palsgr.).]

b. To adorn with figures or other ornamentation in relief; to represent (a subject) in relief. (Sometimes with reference to embroidery.) Also of the figures, etc.: To stand out as an ornament upon.

3. To ornament with or as with bosses or studs. Hence, To adorn or decorate sumptuously. /Oxford English Dictionary [online, viitattu 21.3.2005]/

³ saksaksi prägen, (koho)meistää, kohokuvioida, korkopainaa, korkopuristaa, korkomeistää, leimata, pakottaa, matrisoida, painaa korkopuristuslaatalta; lyödä (rahaa) /netmot sateka 2.1a/

maattina on mahdollista käyttää niin tasomaisia kuin rullaprosesseja sekä arkki- että rullatuotteilla.

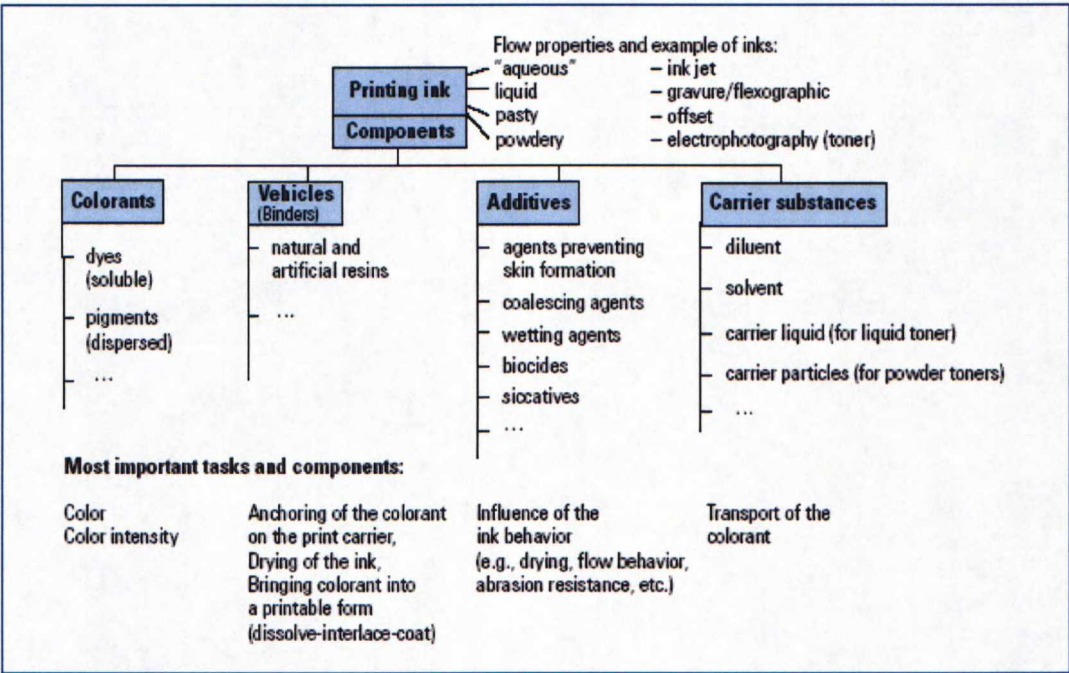
Embossaamista käytetään paljon erilaisissa käyttötarkoituksissa. Monesti, esimerkiksi kartonkipakkauksissa, se on puhtaasti ulkonäön vuoksi tehty koristelu, mutta joissakin käyttötarkoituksissa sillä on tuotteessa selkeä toiminnallinenkin funktio. Yksi embossauksen käyttökohde on tissue-paperin valmistaminen, missä embossaamisella on tuotteelle selkeä toiminnallinen funktio. Tissue-paperit koostuvat yleensä kahdesta tai useammasta kerroksesta, jotka sidotaan toisiinsa embossaamalla kuviokalanterilla niihin kuvio, jonka alueella kerrosten löyhä rakenne sekoittuu ja kerrokset sitoutuvat toisiinsa.

Embossaamisessa voidaan käyttää myös paljon pienempää kuviota. Tekniikkaa käytetään erilaisten mikromittakaavaisten elektronisten ja optisten komponenttien valmistuksessa. Peruseriaatteena niissä yleensä on tehdä kohokuviointi käyttämällä muottia, joka puristetaan kovettuvaan materiaaliin. Materiaaleina on yleensä termoplastisia tai säteilyllä kovetettavia polymeerejä. Tässä työssä embossauksella tarkoitetaan yleensä juuri polymeerikalvon mikroembossausta kuumuuden avulla. Lisää tästä tekniikasta on kappaleessa 2.4.

4. Painovärit ja suojalakat

4.1. Painoväriin koostumus

Painomenetelmän vaatiman painoväriin jäykkyyden perusteella painomusteet voidaan jakaa matalan ja korkean viskositeetin musteisiin. Yksinkertaisimmillaan muste on vain väriainetta ja liuotettua hartsia sekä tarvittavia lisäaineita. Tällaisen musteen viskositeetti on yleensä matala, jolloin sen virtauskäyttäytyminen on lähes newtoniaanista. Matalan viskositeetin mustetta käytetään syvä- ja fleksopainossa sekä inkjet-tulostamisessa. Sen sijaan offset-, koho- laaka- ja silkkipainoissa tarvitaan paljon viskoottisempi muste. Näissä musteissa pigmenttipitoisuus on korkeampi, jolloin sideaineet ja kuivumismekanismit myös ovat monimutkaisempia kuin matalamman viskositeetin musteilla [27]. Korkean pigmenttipitoisuuden ja monien lisäaineiden vuoksi korkean viskositeetin musteet ovat yleensä kaukana newtoniaanista virtauskäyttäytymisestä.



Kuva 22. Painomusteen koostumus ja komponenttien tehtävät. [28]

Painoväri koostuu yleensä kolmesta pääkomponentista ja lisäaineista. Nämä pääkomponentit ovat väriaine, sidosaaine ja liuotin. Muste ja suojalakka vastaavat yleensä muutoin toisiaan, mutta suojalakasta puuttuvat värilliset pigmentit. Kuva 22 esittää musteen koostu-

musta ja eri komponenttien tehtäviä. Käytettävät lisäaineet riippuvat aina prosessista ja lopputuotteen halutuista ominaisuuksista. Eri painoprosesseissa on erilaisia vaatimuksia painoväriin sekä kemiallisille (esimerkiksi kuivumismekanismit) että fyysisille ominaisuuksille (esimerkiksi viskositeetti).

4.2. Väriaineet

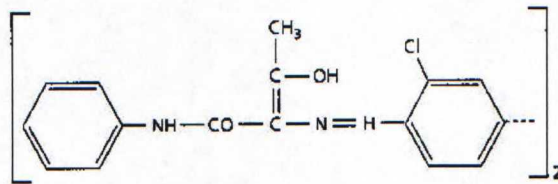
Väriaineille on monta vaatimusta, kuten hyvä väri-intensiteetti, valonkestävyys, kemikaalinkestävyys, pieni partikkelikoko ja hyvät dispergoitumisominaisuudet normaaleihin musteissa käytettäviin liuottimiin.

Väriaineet ovat jaettavissa kahteen eri tyyppiin, pigmentteihin ja liukeneviin väriaineisiin. Pigmentit ovat enemmän käytetty ryhmä, vaikka niiden valonabsorptio on jakautunut leveämmälle taajuusalueelle kuin liukenevien väriaineiden, joiden absorptio voi olla rajautunut hyvin kapealle taajuusalueelle /28/.

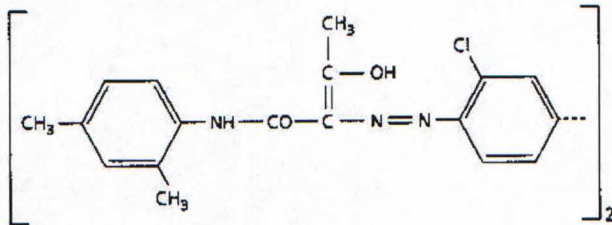
Pigmentit ovat kiteitä, joiden värin antavat aivan pinnassa olevat atomit. Kiteiden koko on yleensä 0,015...0,04 μm /27/. Pigmenttien tärkeimmät vaatimukset ovat yleensä alhainen öljynabsorptio, voimakas väri, edullinen hinta ja hyvä stabiliteetti. Tyypillisten pigmenttien taitekerroin on noin 2,3, kun painomusteen muiden ainesosien taitekerroin on luokassa 1,4...1,6 /29/. Pigmenttien sisällä voidaan tehdä jako orgaanisiin ja epäorgaanisiin aineiden koostumuksen mukaan. Käytössä on myös värittömiä lisäpigmenttejä (*extender pigment*) /30/.

Koska eri väriaineita on tuhansittain, on käytössä väri-indeksijärjestelmä, jonka ylläpitäjänä on Society of Dyers and Colourists. Heidän järjestelmässään väriaineet on luokiteltu ensin käyttötavan mukaan (*direct*, liukoinen aine johon kastetaan; *disperse*, dispersio hienojakoisesta aineesta; *vat*, väriaine on liotettu johonkin liuottimeen; *pigment*, liukenematon väriaine, jota käytetään pigmenttinä jne.). Seuraava jaon porras on geneerinen numerointi, jossa samantyyppiset aineet numeroidaan (esimerkiksi pigmenttikeltaiset 12, 13 ja 14 ovat kaikki benzidiiniyhdisteitä, joilla on vain vähän eroa, Kuva 23). Lopuksi annetaan viisinumeroinen tunnus, jolla aine voidaan tunnistaa. /2/

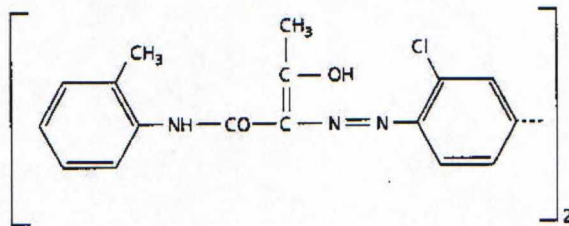
CI Pigment Yellow 12; CI 21090



CI Pigment Yellow 13; CI 21100

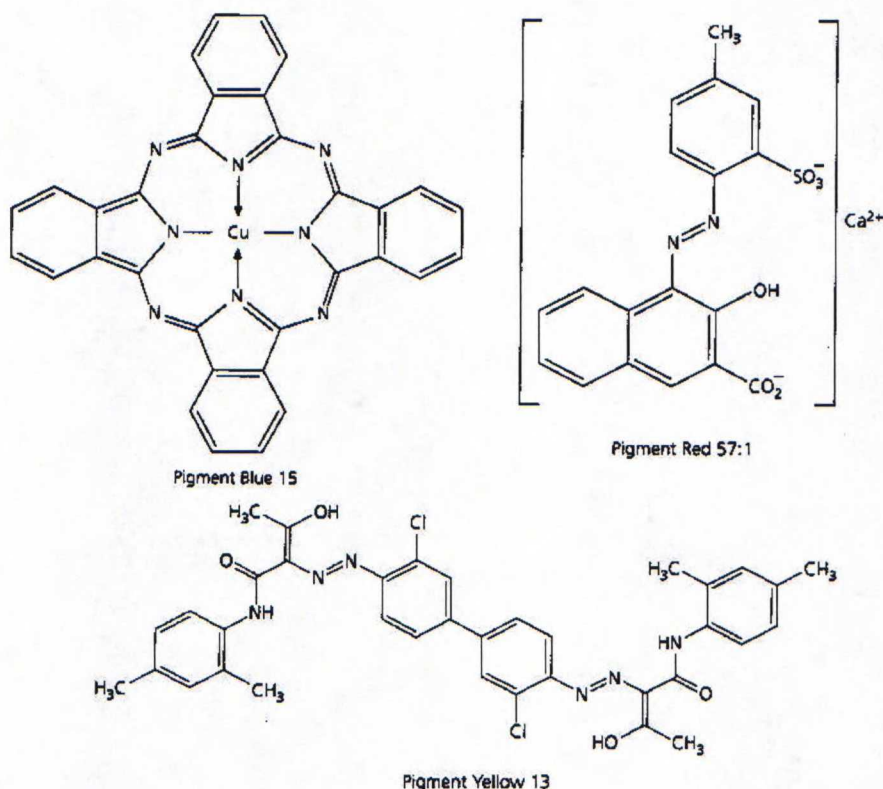


CI Pigment Yellow 14; CI 21095



Kuva 23. Yleisesti käytettyjä keltaisia pigmenttejä /2/.

Painettaessa käytetään yleensä CMYK-värejä, jolloin toistettavat värit ovat syaani, magenta ja keltainen (sekä musta). Kuva 24 esitetään yleisimmät käytettävät pigmentit näille väreille. Ne ovat kupariftalosyaanisinen (CI pigment blue 15), kalsiumtoneri 4 B (CI pigment red 57:1) ja bis-arylamidiyhdiste (CI pigment yellow 12 tai 13). Syväpainoissa käytetään enemmän keltaista numero 12, jonka ero pigmenttiin 13 on kaksi metyyliiryhmää kummassakin bentseenirenkaassa (Kuva 23). Myös USA:ssa keltainen pigmentti 12 on suositumpi. /2/



Kuva 24. Yleisimmät painovärien pigmenttien väriaineet. /2/

Liukenevat väriaineet ovat liuottimessa yksittäisinä molekyyleinä, jolloin jokainen molekyy-leistä vaikuttaa väriin. Liukenevilla väreillä voidaan siten saavuttaa korkeampi värin lu-minositeetti ja densiteetti /28/. Liukenevat väriaineet kuitenkin vaalenevat pigmenttejä hel-pommin valon ja ilman vaikutuksesta. Liukenevilla väreillä tehty painoväri on yleensä myös läpinäkyvä. Liukenevia väriaineita käytetään paljon ink-jet tulostamisessa, tosin sielläkin suuntaus on pigmenttiväreihin.

4.3. Sidosaineet

Sidosaineen tehtävänä on ympäröidä pigmentit painovärissä ja sitoa ne painoalustan pin-nalle. Sideaine myös estää pigmenttejä muodostamasta agglomeraatteja ennen paina-mista. Sideaineet ovat perinteisesti hartseja, jotka on liotettu mineraaliöljyyn. Sideaineet yhdessä pigmenttien kanssa muodostavat kuivan painovärikerroksen pääosan. Si-

deainehartsit tuovat mustepintaan kovuutta, kiiltoa ja joustavuutta sekä parantavat adheesiota. /2/

Käytettäviä sideaineita on tarjolla suuri määrä. Liuotinpohjaisissa musteissa sideaineina käytetään tyypillisesti luonnonhartseja, sellakkaa, synteettisiä polymeerejä ja alkydihartseja /2/. Esimerkiksi männyistä saatavaa luonnonhartsia käytetään alkoholiliuottimellisissa lakoissa sekä yhdessä mineraaliöljyn kanssa parantamaan sanomalehtimusteen ominaisuuksia, kuten hankauksenkestoa /2/.

Sideaineen molekyylimassalla on merkitystä paino-ominaisuuksiin. Matalalla molekyylimassalla saadaan hyvä liukoisuus ja korkeampi painopinnan kiilto kuin suuremman molekyylimassan yhdisteillä. Korkeamman molekyylimassan yhdisteet ovat nopeammin asettuvia ja kuivuvia. /30/

Molekyylimassan kasvaessa lasipiste kohoaa ja polymeeri kovenee. Hilan toiston kannalta siis molekyylimassaltaan matalat polymeerit ovat toivottavia /31/.

Juoksevilla musteilla – siis syvä- ja fleksopainoissa – käytetään tyypillisesti seuraavia liuotin-sideaineyhdistelmiä /2/:

- nitroselluloosaa liuotettuna teollisuusspriihin (industrial methylated spirits) ja etyyliasetaattiin. Tätä yhdistelmää käytetään erityisesti selluloosalle, polyesterille, käsitellyille polyalkeenifilmeille ja alumiinifolioille.
- polyamidi liuotettuna teollisuusspriihin (industrial methylated spirits) tai etyyliasetaattiin. Käytetään käsitellyille polyalkeenipinnoille antamaan erityisen korkeaa adheesiota ja kiiltoa sekä naarmuuntumisen ja rasvankestoa. Kestää myös hyvin alhaisia lämpötiloja, mutta korkeiden lämpötilojen kestävyys vuoksi sekoitetaan nitroselluloosaan. Käytetään erityisesti pakasteiden pakkauksissa.
- akryylikopolymeeri liuotettuna teollisuusspriihin (industrial methylated spirits) ja etyyliasetaattiin. Modifioidaan muiden sideaineiden kanssa. Parantaa lämpötilankestävyyttä, kiiltoa, rasvankestoa ja adheesiota polyalkeenipakkausmateriaaleilla.
- kloorattu kumi etyyliasetaatti-tolueeniseoksessa. Tätä yhdistelmää käytetään erityisesti syväpainossa korkealaatuisissa lehtitöissä, läpinäkyvillä filmeillä ja alumiinifoliolla.

- vesipohjaiset akryylihartsit. Vesiliukoiset akryylikopolymeerit ovat syrjäyttämässä perinteiset alkaliliukoiset havupuuhartsimaleatit. Vesipohjaisilla akryylihartseilla on ylivertaiset kiilto-ominaisuudet ja niitä käytetään pääasiassa laatikoissa, paperipusseissa ja säkeissä. Tyypillisesti käyttöliuoksessa on mukana jotain liuotinta, kuten butyyliselluloosaa, parantamassa kastelevuutta sekä vaahdonestoaineita.

Offsetmusteissa käytettävät liuottimet ovat tyypillisesti samoja, mutta musteissa käytetään erilaisia lisäaineita parantamaan reologiaa ja kuivumista.

4.4. Liuottimet

Liuottimen päätehtävä on olla kantofaasina painovärin värille ja sideaineelle. Liuottimen määrällä voidaan myös säätää musteen viskositeettia. Painamisen jälkeen normaaleista painoväreistä liuotin poistuu joko haihtumalla tai imeytymällä painoalustaan. Eniten käytettäviä liuottimia ovat erilaiset öljytisleet, alkoholit sekä kasvi- ja mineraaliöljyt./2/

Painovärit voidaan jakaa vesi- ja liuotinpohjaisiin sekä säteilykuivuviin. Suuntaus on entistä enemmän vesiliukoisiin väreihin. Niillä ei ole yhtä paljon ympäristövaikutuksia eivätkä ne vaadi liuottimen talteenotto- tai polttojärjestelmiä. Vesiliukoisilla väreillä myös maku- ja hajuongelmat ovat yleensä pienempiä.

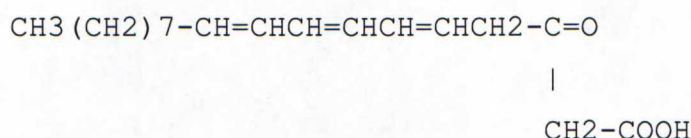
Musteissa käytettävät öljyt jaetaan kuivuviin, puolikuivuviin ja kuivumattomiin. Kuivuvat öljyt ovat yleensä kasvipohjaisia, ja niiden koostumus on sekoitus rasvahappojen glyseridejä ja triglyseridejä. Osa rasvahapoista on tyydyttyneitä (hiilirungossa on vain yksinkertaisia sidoksia) ja osa tyydyttymättömiä (hiilirungossa on ainakin yksi kaksoissidos). Tärkeimmät kasviöljyissä esiintyvät tyydyttyneet rasvahapot ovat lauriini-, muskotti-, palmitiini- ja steariinihappo. Vastaavasti tärkeimmät tyydyttymättömät ovat öljy-, linoli- ja linoleenihappo. Kuivumattomia öljyjä on sekä kasvi- että mineraalipohjaisia.

Tärkein kuivuva kasviöljy on pellavansiemenöljy, jossa rasvahappoina ovat linoli- ja linoleenihapot. Muita merkittäviä kuivuvia kasviöljyjä ovat tung- ja oitica-öljyt. /2/

Tung-öljyä saadaan aasian puun pähkinöistä, ja siinä glyseroliin on sitoutunut noin 80 % oleosteariinihappoa (*elaeostearic acid*), loppu on pääasiassa öljyhappoa. Tung-öljy

kuivuu nopeasti ja antaa hyvän kiillon. Tung-öljyn hapettumisreaktio on kuvattu myöhemmin tässä kappaleessa. Yhdessä fenoli- ja alkydihartsien kanssa se kestää hyvin hankausta, vettä, emäksiä ja saippuaa, joten sitä käytetään erityisesti offsetpainetuissa puhdistusaineiden pakkauksissa, metallimusteissa ja korkeakiiltoisissa suojalakoissa.

Oitica-öljy on myös pähkinöistä, *Licania rigida* -lajista. Oitica-öljyssä on *d*-licanichappoa jossa on kolme konjugoitua kaksoissidosta ja ketoryhmä ($-C=O$), mikä on epätyypillistä rasvahapolle:



Myös oitica-öljy lisää veden-, emästen- ja hankauksenkestävyyttä. Lisäksi se nopeuttaa kuivumista ja antaa hyvän kiillon sekä adheesion substraattiin. Offsetpainetuissa töissä imemättömille pinnoille, kuten muovikalvoille ja folioille, sitä käytetään muodostamaan kova, naarmuuntumista kestävä pinta.

Tärkeimpiä puolikuivuvia öljyjä ovat auringonkukkaöljy ja soijaöljy, joista jälkimmäinen on enemmän käytetty. Soijaöljyssä on suuri osuus linoli- ja öljyhappoa, joissa ensin mainitussa on vain kaksi erillään olevaa kaksoissidosta ja jälkimmäisessä vain yksi kaksoissidos. Koska kaksoissidoksia on vain vähän, soijaöljyn kuivuminen hapettumalla on hyvin hidasta. Puolikuivuvia kasviöljyjä käytetään monesti alkydihartsien kanssa, jolloin muodostuu modifioituja alkydihartseja. Ne muodostavat yleensä joustavampia kalvoja kuin modifioimattomat kuivuvat öljyt.

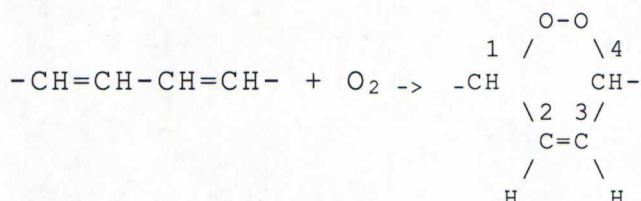
Kuivuminen hapettumispolymeraation kautta tapahtuu reaktiolla kaksoissidoksien ja hapen kanssa. Tyydyttyneet rasvahapot eivät ota osaa kuivumisreaktioon hapettumalla, joten kuivumispotentiaali määräytyy tyydyttymättömissä rasvahapossa olevien kaksoissidosten määrästä. Ohuen pellavansiemenöljykerroksen kuivuminen ilman kuivausaineita voi huoneenlämmössä kestää viikon; kuivausaineilla se voidaan nopeuttaa muutamiin tunteihin.

Tung-öljyssä esiintyvän oleosteariinihapon (*oleostearic acid*) hapettumispolymerisaatio-reaktion kulkuna pidetään seuraavaa /2/:

1. happi reagoi metyleeniryhmien ($-\text{CH}_2-$) kanssa konjugoiduissa kaksoissidoksissa:

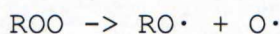


2. hapen lisäys synnyttää syklisen 1,4-peroksidin:



joka voidaan merkitä ROO (Hiilet on numeroitu havainnollisuuden vuoksi).

3. muodostunut syklinen peroksidi hajoaa vapaiksi radikaaleiksi:



4. peroksidiradikaalit reagoivat sitten toisen tyydyttymättömän rasvahapon kanssa:



5. Reaktiossa syntyneet radikaalit $\text{R}\cdot$ voivat reagoida hapen kanssa (jos niissä on konjugoituja kaksoissidoksia) muodostaen ROO-peroksidgeja, jotka reagoivat edelleen.

6. Polymerisaatio päättyy, kun radikaalit reagoivat keskenään muodostaen pysyviä yhdisteitä:



Koska polymerisaatio kuluttaa happea, voi polymerisaatio hidastua suurien arkipinojen keskellä. Koska useat molekyylit reagoivat samaan aikaan, on radikaaleilla tarjolla useampia reaktiokohtia ja syntyy myös molekyylien välisiä sidoksia. /2/

Kuivumattomia kasviöljyjä käytetään pehmittiminä alkydimusteissa ja -suojalakoissa. Korkeista lämpötiloista (yli 350 °C) saatavat mineraaliöljyjakeet sisältävät pitkäketjuisten hiilivetyjen lisäksi monesti aromaattisia yhdisteitä, jotka voivat olla karsinogeenisia. Niitä kuitenkin käytetään halvoissa sanomalehtimusteissa (cold set weboffset) joko pelkän mustan

pigmentin kanssa tai yhdessä kolofonin tai muiden hiilivetyhartsien kanssa. Jos käytetään pelkästään mineraaliöljyjä, muste ei koskaan kuivu. /2/

4.5. *Lisäaineet*

Yleisimpiä lisäaineita ovat biosidit, viskositeetin säätöön käytettävät aineet, vaahdonesto-, kuivatus- ja kostutusaineet sekä vahat. Vedettömässä offsetpainossa käytetään aina silikoniöljyjä.

Lisäaineilla pyritään säätelemään musteen ja painopinnan ominaisuuksia sekä helpottamaan painoprosessia. Osalla käytettävistä lisäaineista ei ole tarkoitus olla mitään vaikutusta lopullisen painopinnan ominaisuuksiin. Tällaisia aineita ovat esimerkiksi biosidit, viskositeetin säätöön käytettävät aineet ja vaahdonestoaineet.

Vahoja käytetään lisäaineena parantamaan painetun pinnan hankauksen kestoa ja pinnan liukkaita. Osa vahoista on luonnossa esiintyviä, mutta erilaisia synteettisiä vahoja käytetään enenevässä määrin.

Mäntyhartsia yhdessä koboltti-, lyijy- ja mangaanisuolojen kanssa käytetään kuivausaineena /2/. Kobolttiyhdisteitä käytetään "pinnan kuivattajina": ne saavat aikaan pinnan kuivumisen kuivumisen alussa, kun taas mangaaniyhdisteet aloittavat kuivaamisen sisemältä mustekerroksesta /28/. Kuivausaineita käytetään eniten offsetpainossa, sillä siellä käytettävät liuottimet ovat heikoiten haihtuvia.

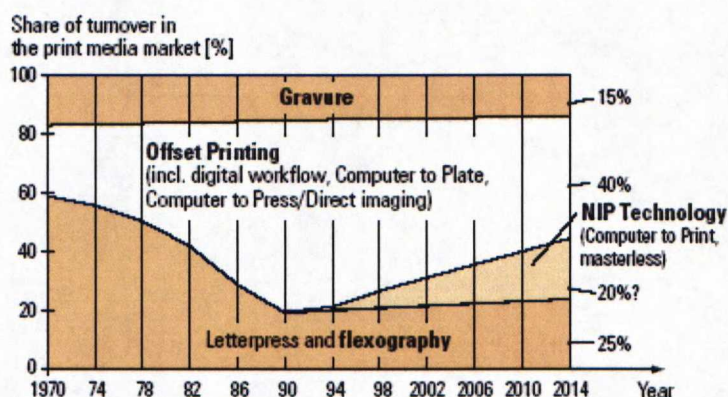
Pehmittimet ovat tärkeitä valmiin painopinnan ominaisuuksien muokkaamiseksi. Niiden avulla kuivaneesta painopinnasta saadaan elastisempi ja pehmeämpi. Nämä ominaisuudet parantavat painetun pinnan naarmutuksenkestoa ja liiman adheesiota. Pehmittiminä käytetään sekä monomeereja että polymeerejä. Monomeeriset pehmittimet ovat haihtumattomia liuottimia, jotka jäävät mustekerrokseen varsinaisen liuottimen kuivuttua tai haihduttua /32/. Ne ovat pieniä molekyylejä, joilla on korkea liikkuvuus, joten ne saattavat kulkeutua pakattuun tuotteeseen. Esimerkkejä pienimolekyylisistä pehmittimistä ovat sulfoamidit, sitraatit, ftalaatit ja fosfaatit /32/. Monet monomeeriset pehmittimet ovat haitallisia.

Polymeeriset pehmittimet vaikuttavat sitoutumalla hartsiin ja tekemällä siitä joustavampaa. Ne ovat molekyylimassaltaan tyypillisesti 10 000...15 000 yksikköä ja koostuvat pääasiassa nitroselluloosasta tai polyvinyylibutyaalista. Ne eivät yleensä ole haitallisia, ja niiden kulkeutuminen on hyvin vähäistä /33/. Muita polymeerisiä pehmittimiä ovat uretaanipolymeerit, epoksoitu soijaöljy, risiiniöljy ja kuivumattomat alkydit /32/.

5. Painomenetelmät

5.1. Yleistä

Tärkeimmät painomenetelmät ovat offset-, flekso- syvä-, ja digipaino. Kuva 25 esittää niiden markkinaosuuksien jakautumista 1970-luvulta eteenpäin. Offsetin osuuteen on las-
kettu myös erilaiset uudemmat versiot, kuten Computer to Plate ja Computer to Press
-tekniikat. Näiden lisäksi on olemassa myös silkipaino, mutta sen käyttökohteet ovat
yleensä niin erilaisia muihin painomenetelmiin verrattuna, että sitä ei edes tilastoida
samoihin tilastoihin.



Kuva 25. Eri painomenetelmien osuus painomarkkinoista 1970-luvulta eteenpäin. /28/

Syväpainon markkinaosuus on säilynyt melko tasaisena, mutta sen sijaan kahtenakymmenä ensimmäisenä vuonna koho- ja fleksopainon osuus on pudonnut noin kolmanneksen vuoden 1970 tasosta offsetin ottaessa yhä suuremman markkinaosuuden. Koho- ja fleksopainon osuuden sisällä kohopainon osuus on hyvin pieni, sitä käytetään nykyisin lähinnä pienimittakaavaiseen lomaketuotantoon, käyntikortteihin ja muuhun yksinkertaiseen tekstin ja viivojen toistoon /2, 28/.

1990-luvun alusta erilaiset digitaalisen painamisen ratkaisut ovat syöneet offsetin markkinaosuutta muiden menetelmien osuuksien säilyessä lähes ennallaan. Tällä hetkellä digipainon markkinat jaetaan lukuisten tekniikoiden kesken, niistä merkittävimmät ovat elektrofotografia, ink-jet sovellukset ja termografia /28/.

Edullisimman painomenetelmän valinnassa on useita vaikuttavia tekijöitä. Yksi tärkeimmistä on painosmäärä. Lisäksi tietysti lopullinen käyttökohde asettaa omat vaatimuksensa niin painoalustan kuin painovärienkin valinnalle.

Syväpainolla on korkein alkukustannus, sillä sen vaatima painopinta on kallis valmistaa ja varastoida toistuvia töitä varten. Koska painopinta on painosylinterin pintaan kaiverrettuna, on painotyötä vaihdettaessa vaihdettava koko sylinteri koneeseen. Syväpainon kuvanlaatu ja etenkin painopinnan kestävyys ovat kuitenkin yliverit muihin tekniikoihin verrattuna.

Syväpainoa käytetään suuriin painoksiin. Taloudellisesti kannattavana painosmäärän miniminä pidetään noin miljoonaa kappaletta /28/. Joissain tuotteissa syväpainoa käytetään pienemmilläkin painosmääriä laatu- ja imagosyistä. Syväpainon etuina ovat suuret ajonepeudet ja erinomainen painojälki. Suurimmat käyttökohteet ovat aikakauslehdet ja luettelot. Syväpainon muita tyypillisiä käyttökohteita ovat pakkaukset, joissa on riittävän suuret painosmäärät, esimerkiksi tupakka-askit. On arvioitu, että alle 20 % pakkauksista Euroopassa painetaan syväpainolla. Fleksopainon osuudeksi on esitetty noin 60 % /30/. Monissa suuremmissa pakkausmateriaalia painavissa laitoksissa on käytettävissä molemmat painomenetelmät /30/.

Fleksopainolla voidaan painaa heikommille pinnoille kuin offset- ja syväpainoilla, joten sen käyttökohteet ovat monesti halvempilaatuisissa painotöissä. Tällaisia ovat esimerkiksi halvat pehmytkantiset kirjat ja muutamat sanomalehdet, kuten Iso-Britanniassa *Daily Mail*, *Mail on Sunday* ja *Evening Standard* /2/. Nykyisillä polymeerilevyillä voidaan saavuttaa varsin hyvälaatuinen painojälki, minkä ansiosta fleksoa käytetään paljon erilaisissa pakkauksissa. Erityisesti pakkauksissa käytetään paljon vettä liuottimena, sillä se antaa vähiten haju- ja makuvirheitä pakatuille tuotteille /28/.

Offsetpainossa painopinnan valmistus on merkittävä alkukustannus, joskin paljon halvempi kuin syväpainon painosylinterin kaiverrus. Painoarkkia kohti tuleva kustannus on kuitenkin offsetissa suurempi kuin syväpainossa /28/, joten tarpeeksi suuret painosmäärät on edullisempaa tuottaa syväpainossa. Offsetpainon suuria käyttökohteita ovat erilaiset lehdet, luettelot ja pakkaukset, joiden painosmäärät eivät ole syväpainolle riittävän suuria. Jos painosmäärät ovat liian pieniä, tulee painopinnan valmistuksesta ja vaihtamisesta huomattava osuus kokonaiskustannuksista.

Offsetpainon markkinaosuutta on syönyt digitaalinen painaminen ja tulostaminen eri muodoissaan. Koska digitaalisessa painamisessa varsinaista painopinnanvalmistusta ja vaihtoa ei ole lainkaan tai painopinta valmistetaan jokaista tulostetta varten osana tulostusprosessia, on työstä toiseen siirtyminen nopeinta kaikista painomenetelmistä. Digipainossa aloituskustannukset ovat matalammat kuin muissa menetelmissä, mutta kustannus tulostetta kohti on painomenetelmistä kaikkein suurin. Digipainon markkinat ovat ennen kaikkea lyhyissä ja nopeissa sarjoissa, joskin kannattavan sarjan koko kasvaa jatkuvasti.

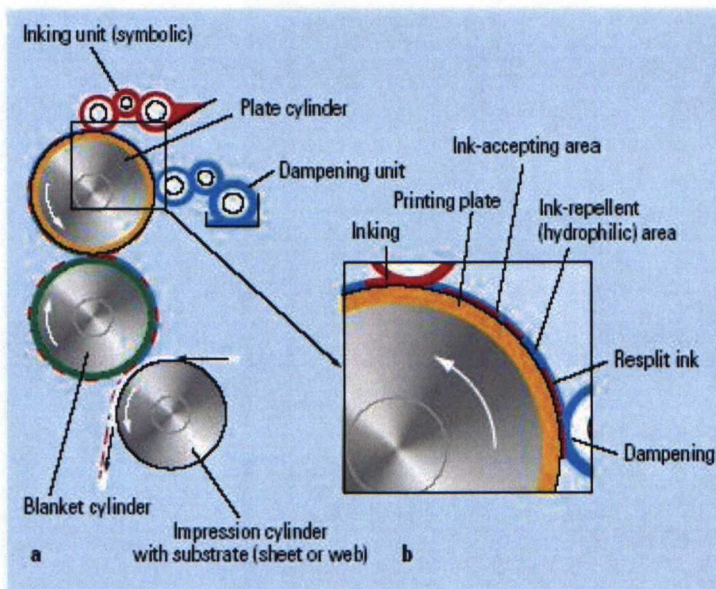
5.2. Offsetpaino

5.2.1. Offsetvärien ja -suojalakkojen ominaisuudet

Offsetpainaminen perustuu painolevyllä oleviin alueisiin, joilla on erilaiset pintaenergiat ja -jännitykset. Toiset alueet ottavat vastaan vettä ja toiset ottavat pintaansa painovärin. Koska offsetmenetelmässä yleensä käytetään vettä tai vesi-alkoholiseosta kostutusaineena, on musteen oltava siihen liukenematonta. Muissa menetelmissä ei ole kostutusjärjestelmää, joten niissä on vähemmän prosessin musteelle asettamia vaatimuksia.

On olemassa myös vedetön offsetmenetelmä, jossa musteella on korkeampi viskositeetti; levyissä käytetään erityisiä mustetta hylkiviä silikonipinnoitteita ja musteen lisäaineena käytetään silikonijäykkä muodostamaan helposti irtoava rajakerros silikonipinnoitteen kanssa /28/. Vaikka tämä menetelmä on periaatteessa painajalle yksinkertaisempi (ei kostutusveden säätöä ja sen koostumusta, ei ongelmaa kostutusveden emulsifioitumisesta painomusteeseen, pienempi dot gain), sen osuudesta tehdyt (positiiviset) arviot ovat noin viiden prosentin luokkaa offsetmarkkinoista /28/. Menetelmään kohdistuu paljon kiinnostusta, ja sen oletetaan yleistyvän huomattavasti.

Kuva 26 esittää offsetpainon periaatetta. Muste levitetään offsetpainamisessa tasaiseksi kerrokseksi erityisellä telastolla, josta se tarttuu kostutetun painosylinterin mustetta vastaanottaviin kohtiin. Painosylinterin pinnasta muste halkeaa kumisylinterille, jonka pinnalta muste siirtyy painettavalle pinnalle halkeamalla uudelleen. Painonipissä paine on noin 1 MPa /28/.



Kuva 26. Offsetmentelmän periaatekuva. a) Painoyksikön osat. b) Musteen siirron periaate. /28/

Koska painavien alueiden mustekerros halkaistaan kahdesti ennen lopulliselle painopinnalle siirtymistä, on pinnalle tuleva kerros hyvin ohut, tyypillisesti 0,5...1,5 mikrometriä /28/. Mikäli käytettävä mustemäärä on kovin suuri, voi musteen halkeaminen tapahtua epätasaisemmin kuin ohuemmillä mustepaksuuksilla. Kuivuminen ei muuta juurikaan kerroksen paksuutta, sillä offsetmusteesta yli 90 % jää pinnalle.

Taulukko 1. Tyypillinen muste arkkioffsetpainatuksessa. /30/

Komponentti	%
Orgaaninen pigmentti	20
Nopeasti asettuva sidosaine	65
Vaha	5
Anti-set-off-tahna	3
Koboltti- tai magnesiumkuivatusaine	2
Öljytisle	5

Offsetpainossa painoväriin viskositeetti on korkea, $\eta = 40 \dots 100 \text{ Pa} \cdot \text{s}$. Tämä johtuu sekä korkeasta pigmenttipitoisuudesta, käytettävien sideaineiden viskoottisuudesta että liuottimen pienestä määrästä. Taulukko 1 esittelee tyypillisen arkkioffsetmusteen koostumuksen.

Koska musteella on korkea viskositeetti ja painamisessa yleensä käytetään kostutusvettä (tai vesi-alkoholiseosta), on tärkeää, että offsetmuste ei liukene veteen.

Mustetelaston ja lopullisen musteannostelun kahden halkaisukerran vuoksi on musteen liuottimien oltava melko heikosti haihtuvia. Liuotinta käytetään kuitenkin varsin vähän, jolloin hidas haihtuminen ei ole suuri ongelma. Lisäaineina käytetään myös erityisiä kuivausaineita. Tyypillisiä liuottimia offsetpainatuksessa ovat öljytisleet, joiden kiehumispiste on noin 260...320 °C /30/. Öljytisleiden lisäksi mukana musteessa on monesti kasviöljyjä, jotka kuivuvat hapettumalla. /2/.

Jos painovärin pitää asettua kovaksi ja kestäväksi filmiksi ennen painokoneelta luovutusta, on tarpeen käyttää musteita tai lakkoja, joiden kuivumismekanismi on muu kuin haihtuminen ja imeytyminen. Tällaisia musteita ovat UV-kovettuvat painovärit. Käytettäessä muita kuin UV-kovetteisia värejä on liuottimien korkean kiehumispisteen vuoksi monesti joko lisättävä kuivausaineita tai kuivattava painettu tuote kuumentamalla, etenkin jos painopintana on päällystetty paperi tai muu huonosti imevä pinta /30/.

UV-valolla kovettavien musteiden kovettuminen tapahtuu hetkessä UV-valon avulla tapahtuvan polymerisaation avulla. Näillä musteilla ei kuitenkaan saavuteta yhtä hyvää painojäljen laatua kuin perinteisillä musteilla /28/. UV-musteita käytettäessä voidaan päästä kuitenkin painamaan kuivalle pinnalle, kun perinteisillä liuotinpohjaisilla musteilla aiempi värikerros on edelleen jossain määrin kosteaa. UV-kovettuvien musteiden lämpömuokkautuvuus on hyvin heikkoa.

Sideaineina käytetään kovia hartseja, jotka sisältävät pääasiassa kolofonia, alkydihartsia (0...20 %) ja jonkin verran kasviöljyjä /27/. Muita käytettäviä hartseja voivat olla fenoli- ja maleiinihartsit sekä hartsierit /30/.

5.2.2. Lisäaineet

Offsetmenetelmässä käytetään useita lisäaineita parantamaan painovärin toimivuutta. Lisäaineiden osuus on yleensä noin kymmenen prosenttia musteen painosta. Taulukko 2 esittelee joitakin offsetmusteen lisäaineita ja niiden käytön syynä olevia ongelmia.

Taulukko 2. Musteen lisäaineita ja niiden käytön syinä olevia ongelmia. /28/

Additives		Areas of use in the case of printing problems											
Types	Interaction and effect	Setting off	Chalking	Repelling	Drying	Piling	Hickeys/Dusting	Curling of the sheet ends	Picking	Increasing the abrasion resistance	Badly printing areas	Sticking in the ink fountain	Scumming
Linseed oil varnish—highly viscous	Thick varnish, tacky, increases viscosity.		•			•					•		
Print oil	Linseed oil and other drying oils. Weak varnish, reduces stickiness, makes the ink shorter and thinner. For oxidative drying.					•		•	•		•	•	
Diluent	Low-viscosity mineral oils, partly combined with drying oils. Reduces tack, makes the ink shorter and thinner					•		•	•			•	
Print paste	Waxes and similar substances which are dissolved in oils. Reduce the tackiness like liquid thinner, but without changing the viscosity.							•	•		•		
Print gel	Jellied thinning agent: thickened mineral oils and other oils with different additives with thixotropic properties.							•	•		•		
Drying agent – Siccative (liquid) – Drying substance (solid)	Metallic compounds dissolved in solvents or oils. – Cobalt = Surface dryer – Mangan = Internal dryer	•								•			•
Alumina hydrate	Binder with transparent pigments. Increases tackiness, lightens up.		•	•		•							•
Abrasion resistant paste	Wax with oxidative drying oils; makes the surface smoother to reduce friction.	•								•			
Antistaling agent	Spray. Highly volatile solvent.				•		•	•	•				•

Hitaasti haihtuvien liuotinten vuoksi käytetään monesti erilaisia kuivausaineita, yleensä koboltti-, magnesium- tai muita suoloja. /28/. Jos musteessa on kasviöljyjä, on kuivausaineena yleensä sen öljyn metallisuola; esimerkiksi pellavansiemenöljylle käytetään kobolttilinoleaattia (*cobalt linoleate*) /2/. Kuivausaineita käytettäessä arkkioffsetmusteiden kuivumisaika on edelleen tunteja. Rullaoffset on yleensä heatset-prosessi, jossa liuottimet haihdutetaan kuumuudella erillisessä kuivausosassa.

Joskus käytössä voi olla aineita, joilla estetään kalvonmuodostusta mustetelastolla. Muita käytettäviä lisäaineita voivat olla vahat, joilla saadaan painopintaan liukkautta ja naar-

muuntumisen kestävyyttä. Käytössä on sekä luonnollisia että synteettisiä vahoja. Jos käytetään vedetöntä offsetpainoa, musteen lisäaineena on yleensä silikoniöljyä. /28/

5.2.3. Offset-painetun pinnan embossautuvuus

Yleisesti käytettävät sideaineet ovat tyypillisiä hartseja, joita on mahdollista kuumaembossata. Lopullisen painopinnan mustekerroksen tasaisuudelle on eduksi, jos siirrettävä mustepaksuus ei ole liian suuri, sillä liian paksu kerros saattaa haljeta liian epätasaisesti /34/.

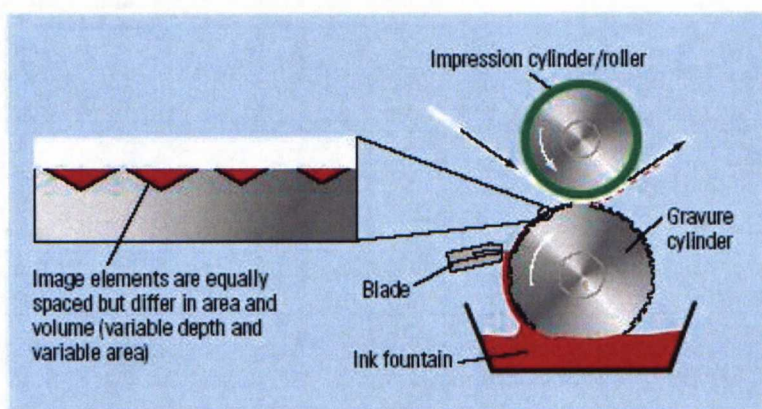
Käytetyistä lisäaineista ainakin vahat vaikuttavat painetun pinnan mikroembossautuvuuteen heikentävästi, sillä ne lisäävät pinnan kykyä palautua tasaiseksi. Vedettömän offsetin silikoniöljyt voivat myös heikentää pinnan embossattavuutta samalla mekanismilla. UV-musteiden embossautuvuus on hyvin heikkoa, sillä UV-kovetteiset musteet polymeroituvat täysin ultraviolettivalotuksen aikana.

5.3. Syväpaino

5.3.1. Syväpainovärien ja suojalakkojen ominaisuudet

Syväpainossa painovärit ovat hyvin juoksevia: niiden viskositeettitaso on yleensä noin $0,05...0,2 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, julkaisupainatuksessa jopa $0,01 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ /28/. Koska musteilla on hyvin alhainen viskositeetti, niiden koostumuksessa liuottimella on hyvin suuri osuus.

Syväpainon erottaa muista painomenetelmistä selvimmin se, että muste kuljetetaan painoalustalle painosylinterin pinnassa olevissa sylintereissä, kun muissa menetelmissä painava alue on joko koholla tai samassa tasossa ei-painavan pinnan kanssa. Kuva 27 esittää syväpainon painoyksikön periaatteen. Syväpainossa painoyksikön sisällä musteen tie mustelähteestä painopinnalle on lyhin kaikista painotekniikoista. Painosylinteri, jonka pinnalla on mustetta varten syvennykset, pyörii mustekaukalossa, jolloin mustekupit täyttyvät. Sen jälkeen telan pinnan pyyhkii terä, joka poistaa musteen muualta kuin kupeista. Tämän jälkeen painosylinteri tulee nippiin, jossa se puristuu vasten painoalustaa, ja väri siirtyy kupeista substraatille.



Kuva 27. Syväpainon periaate /28/.

Kuvien toistossa syväpainolla saavutetaan erittäin hyvä laatu, koska painoväri on hyvin juoksevaa ja kuvien tummemmilla alueilla leviävä muste tasoittuu ja samalla häivyttää rasterikuviota.. Syväpainossa on mahdollista päästä jopa 140 viivaan senttimetrillä, mutta tyypillisesti julkaisuissa käytetään tarkkuutena noin 60...70 viivaa sentillä. /28/

Taulukko 3. Tyypillinen muste syväpainatuksessa./30/

Komponentti	%
Pigmentti (tai liukeneva väri)	5–12
Jatkepigmentti (extender pigment)	0–10
Harts	10–40
Lisäaineet	1–5
Liutin	40–65

Syväpainossa lehti- ja julkaisuvalmistuksessa liuottimena käytetään tyypillisesti tolueenia (kp 78...80 °C), /27/ ja ksyleeniä /28/ sekä helposti haihtuvia öljytiskeitä /2/. Pakkauspainamisessa käytetään syväpaine- ja fleksomusteissa liuottimena nykyisin alkoholi-esteriseoksia /30/, esimerkiksi isopropanolia (kp 79...80 °C) /27/, etanolia, etyyliasetaattia ja veden ja alkoholin tai muun orgaanisen liuottimen seoksia /30/. Edellä mainittujen lisäksi käytetään vähäisessä määrin myös muita orgaanisia liuottimia. Liuotinpohjaisen musteen kuivuessa siitä jää painoalustan pintaan noin 25 % /28/. Pääasiallinen kuivumismekanismi on yleensä haihtuminen.

Syväpainon suojalakat ovat tyypillisesti koostumukseltaan hyvin samanlaisia kuin syväpainomusteet ilman väripigmenttejä /28/. Syväpainossa käytettävät vesidispersiolakat ovat koostumukseltaan vastaavia kuin offsetissa käytettävät vesidispersiot, mutta niiden viskositeetti pidetään alhaisempana itse prosessissa /28/.

Koska painoväriin viskositeetti on alhainen ja liuottimen osuus on hyvin suuri, on etenkin syväpainotekniikassa liuotinpäästöjen rajoittaminen hyvin suuri huolenaihe. Tämän vuoksi syväpainoissa käytetään enenevässä määrin myös UV- ja EB-musteita /35/. Myös vesipohjaisia syväpainovärejä on käytössä. On kehitetty myös hot-melt-syväpainovärejä, jotka ovat nesteiksi lämmitettyjä painoprosessissa mutta normaaleissa lämpötiloissa taas kiinteitä. Nämä musteet pohjautuvat etyylivinyylisetaattiin (EVA), pigmenttiin, liuottimena käytettävään 1-oktadekanoliin ja carnauba-vahaan. /36/

5.3.2. Lisäaineet

Syväpainomusteiden ja -lakkojen lisäaineina käytetään vahoja, erilaisia silikoneja, pinta-energian muokkaukseen erilaisia aineita sekä erilaisia vaahdonestoaineita ja biosideja /32/. Syväpainon käyttökohteet ovat moninaisia, ja yksinkertaisen musteenkuljetuksen vuoksi musteen kemialliselle koostumuksella on vain vähän rajoituksia, joten mahdollisia lisäaineita on hyvin paljon.

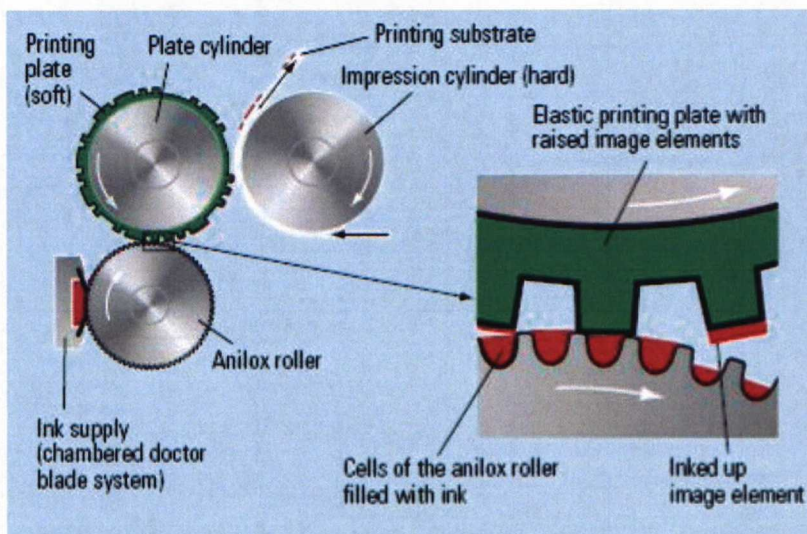
5.3.3. Syväpainetun pinnan embossautuvuus

Syväpainetun pinnan embossautuvuus on verrattavissa offsetpainetun pinnan embossautuvuuteen, ellei jopa parempi, sillä syväpainossa käytettävien lisäaineiden määrä on yleensä pienempi. Syväpainossa käytettävät liuottimet ovat myös nopeammin haihtuvia, joten painopinta asettuu nopeammin. Embossauksessa pinnan pitää kuitenkin olla kuiva, joten hapettumalla kuivuvien musteiden kuivumisajat ovat vastaavia kuin offsetpainossa. Koska syväpainossa musteen siirtyminen pinnalle ei tapahdu halkeamalla samalla tavalla kuin offsetissa, on mustekerroksen pinta oletettavasti tasaisempi.

5.4. *Fleksopaino*

5.4.1. **Painovärien ja suojalakkojen ominaisuudet**

Fleksopainossa painava pinta on joustavana kohokuviona painosylinterin pinnassa. Painopinnalle tuodaan mustekerros mustetelan avulla. Muste levitetään telan pinnassa olevaan tasaiseen mustekennostoon suoraan säiliöstä (Kuva 28). Aikaisemmin painopintana käytettiin lähes yksinomaan kumilevyjä, mutta niillä ei saavutettu kovin suurta tarkkuutta. Nykyisin käytettävät erilaiset fotopolymeerit mahdollistavat tarkkuudeksi noin 60 viivaa senttimetrillä /28/.



Kuva 28. Fleksopainon periaate. /28/

Fleksovärit ovat viskositeetiltaan hyvin lähellä syväpainomusteita, niiden viskositeetti on alueelle $0,05 \dots 0,5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ /28/. Täyspeitteisen pinnan paksuus on lähellä yhden mikrometrin paksuutta, kuten useimmilla muillakin menetelmillä. Koska musteen siirto tapahtuu puristuksessa, ei muste saa olla kuitenkaan liian juoksevaa.

Liuottimina käytetään pääasiassa etyyliasetaattia, alkoholia ja vettä. Alkoholin avulla saadaan yleensä parempi adheesio painopinnalle /28/. Suuri osa fleksomusteista perustuu liuotinsekoituksille, yleensä alkoholi-esterisekoituksille /30/. Alkoholin osuus on kasvanut viime vuosina, sillä sen haihtumisnopeus on pienempi kuin estereillä. Jotta liuottimen keräys ja uudelleenkäyttö olisi mahdollista, on kehitystyö keskittynyt paljon yhden liuottimen

fleksomusteisiin. Sun Chemicals kehittää mustetta etyyliasetaattiliuottimella, ja Sicpa on kehittänyt esteritöntä fleksomustetta. Jotta liuottimen talteenottolaitteistoon investoiminen on järkevää, on liuottimen kulutuksen oltava huomattavan suurta. Toistaiseksi yksi-liuottimelliset musteet ovat rajoittaneet käytettävien pigmenttien valintaa /30/.

Taulukko 4. Tyypillinen muste fleksopainatuksessa. /30/

Komponentti	%
Orgaaninen pigmentti	18
Nitroselluloosa	15
Polyamidi (alkoholin kestävä)	13,5
Etanoli	40
Etyyliasetaatti	10
Silikoni	0,5
di-oktyyliiftalaatti	3

5.4.2. Lisäaineet

Fleksopainoa käytetään hyvin erityyppisiin töihin, joten käytettävien lisäaineidenkin kirjo on suuri. Koska fleksopainon muste on ominaisuuksiltaan lähellä syväpainomustetta, käytettävät lisäaineetkin ovat monesti vastaavia kuin syväpainossa.

5.4.3. Fleksopainetun pinnan embossautuvuus

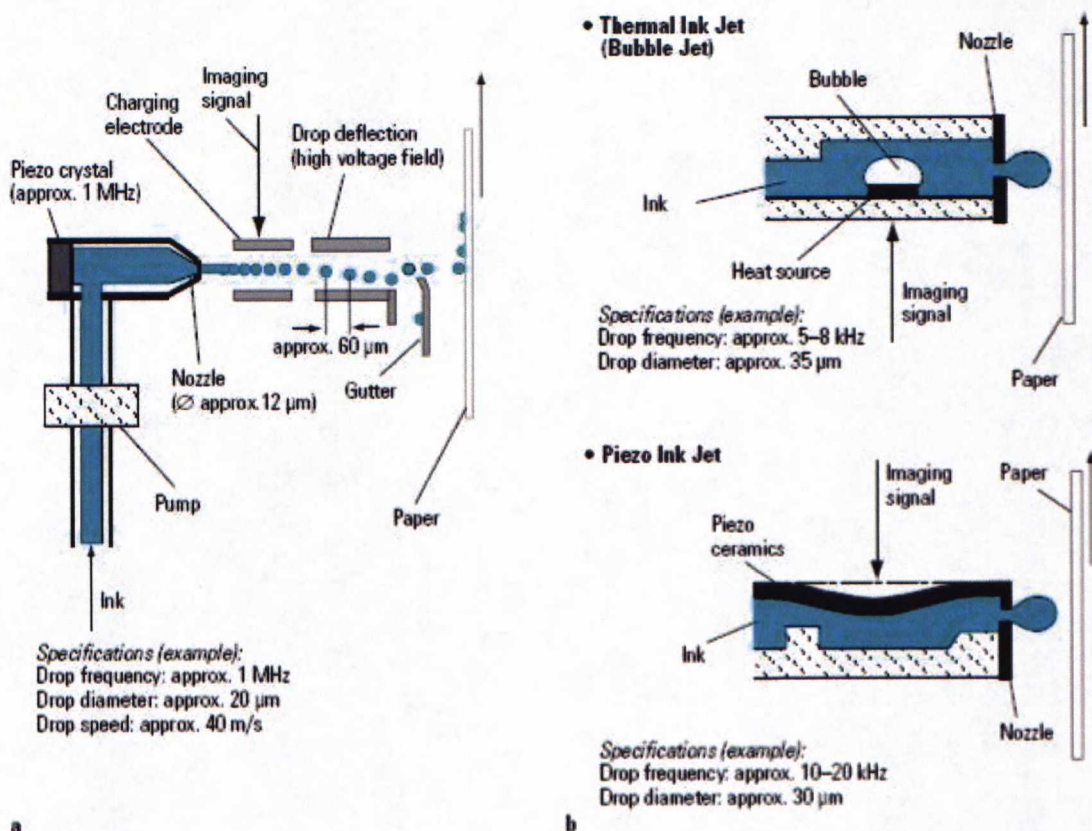
Fleksopainetun pinnan embossautuvuus on vastaava kuin syväpainetun. Erilaiset lisäaineet saattavat aiheuttaa jotain eroja, mutta käytössä on hyvin paljon erilaisia lisäaineita, joten niiden vaikutusta on hankala arvioida.

5.5. Digipainaminen

5.5.1. Inkjet

Inkjet painaminen perustuu painoalustalle ruiskutettaviin mustepisaroihin, jotka muodostavat kuvan. Inkjet-menetelmässä suurin jako on sen mukaan, tapahtuuko pisaranmuodostusta jatkuvasti vai yksittäisinä pisaroina tarpeen mukaan. Kuva 29 esittää inkjet-tulostuk-

sen eri vaihtoehtoja. Pisaroiden muodostamiseen on monia mahdollisuuksia: lämpölaajeneminen, kuumentaminen siihen saakka, että säiliöön muodostuu kuplia, painemuutokset tai elektrostaattinen menetelmä.



Kuva 29. Inkjet-tulostuksen periaate a) jatkuva ja b) drop-on-demand. /28/

Musteessa jatkuvan pisaranmuodostuksen ja drop-on-demand-menetelmissä käytettävien musteiden välillä on jonkin verran eroja. Drop-on-demand-musteissa liuottimena käytetään enemmän vettä, kun taas jatkuvat musteet perustuvat enemmän etanoliin ja metyylietyyliketoniin. Musteen viskositeetissa on paljon vaihtelua: viskositeetit välillä 1...30 mPa · s ovat yleisesti käytössä. /30/ Taulukoissa 5 ja 6 on esitelty tyypillisiä koostumuksia.

Taulukko 5. Yksinkertainen jatkuva inkjet-muste. /30/

Komponentti	%
MEK (metyylietyyliketoni)	40–60
Etanoli	20–30
Vesi	5
Etyleeniglykoli	5
liukeneva musta väri	5–10
sellulosaajohdannainen	5–15
Bibutylyftalaatti	1–5
Vaahdonestoaineet	1
Antioksidantti	1
Litiumnitraatti	2

Taulukko 6. Tyypillinen drop-on-demand-muste lämpöpisaratyyppissä. /30/

Komponentti	%
vesiliukoinen väri	3
Polyetyleeniglykoli	14
Dietyleeniglykoli	12
n-metyylipyrrolidoni	15
tislattu vesi	51,6
Polyvinyylialkoholi	3
Trietanoliamiini	1
pH-puskuri	0,3
Biosidit	0,1

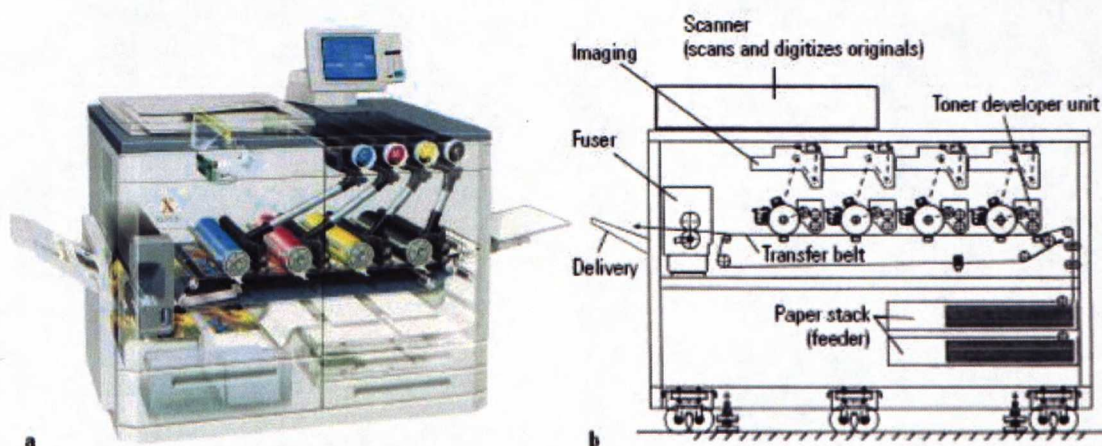
Jatkuvassa pisaranmuodostuksessa ne pisarat, jotka eivät ole tarpeen kuvanmuodostamiseen, ohjataan sivuun ja yleensä kierrätetään takaisin käyttämättömän musteen joukkoon. Jos liuotinta haihtuu ja kierrätetyn musteen osuus kokonaismustemäärästä säiliössä ko-
hoaa kovin suureksi, on musteen liuottimen osuus mahdollisesti laskenut. /28/

Nykyinen inkjet-tulostuksen tutkimus on keskittynyt paljon pietsosähköisellä pisaranmuo-
dostuksella tapahtuvaan tulostamiseen. Pietsosähköisessä tulostuksessa on käytettävissä

monia erityyppisiä musteita, jotka voivat olla vesi-, liuotin- tai jopa kiinteäainepohjaisia (vaha, joka sulaa 150 asteen lämmössä) /28/. Myös normaalien pigmenttien käyttö on mahdollista, joten tulosteiden värinkestävyys voi olla varsin hyvä. Kehitys on menossa suurempiin sarjoihin, ja joillakin tuotealueilla inkjet kilpailee jo perinteisten painomenetelmien kanssa.

5.5.2. Elektrofotografia (jauhe- ja nestetoonereilla)

Elektrofotografiassa kuva toistetaan valolla fotoaktiivisen rummun pinnalle, missä kuva säilyy varauksena kunnes vähitellen purkautuu tai puretaan kerralla kokonaan. Tähän sähköiseen kuvaan tooneripartikkelit tarttuvat sähköisen varauksen avulla. Tooneri siirretään painoalustalle yleensä sähköisen varauksen avulla ja kiinnitetään sen jälkeen yleensä lämmöllä.



Kuva 30. Elektrofotografian periaate. Originaali skannataan ja eri osavärit toistetaan fotoaktiivisille rummuille, joille tooneri kiinnittyy siirtyäkseen paperille. Paperilla oleva tooneri kiinnitetään ennen arkin luovutusta tai toisen puolen tulostusta. /28/

Taulukko 7. Tyypillinen jauhetoonerin koostumus. /30/

Komponentti	%
orgaaninen pigmentti	5
styreeni-akryylihartsi	90
Varauksensäätöaine	3
Vaha	2

Toonereita on jauhe- ja nestemuotoisena. Jauhetoonerit ovat yleisempiä. Taulukko 7 esittää tyypillisen jauhetoonerin koostumuksen. Sideaineena käytetään styreeni-akryylihartsia. Se on hyvin lämmöllä muokkautuvaa, joten elektrofotografialla toistetun painopinnan pitäisi olla hyvin muokkautuva myös diffraktiivisen hilan toistamiseen.

5.5.3. Digipainetun pinnan embossautuvuus

Inkjetin muste on koostumukseltaan lähellä muiden painomenetelmien mustetta, ja joissain jatkuvissa tulostuksissa sen koostumusta jopa säädellään. Tyypillisesti muut kuin sulatettavaan vahaan perustuvat inkjet-musteet imeytyvät paperin pintaan hyvin ohueksi kerrokseksi. Niiden käyttö hilan embossaukseen on todennäköisesti hyvin heikkoa.

Elektrofotografian tonereita ei voi pitää varsinaisesti musteina. Tässä työssä tarkasteltavan tekniikan kannalta ne kuitenkin voivat olla hyvin potentiaalinen alusta, sillä ne ovat lämmöllä muokkautuvia seoksia. Joillakin valmistajilla on erikoistapauksissa olemassa myös "suojalakka" elektrofotografialla tehdylle pinnalle (Chromapress ja OmniGloss). /30/

6. Kustannusmalli

Tässä työssä yhtenä tavoitteena on arvioida tutkittavan tekniikan aiheuttamaa lisäkustannusta. Koska käytettävä tekniikka on määritelty vain päällystetylle paperille tehdyn painopinnan suojalakkaan toistettavaksi diffraktiiviseksi hilaksi, on mahdollisten lopputuotteiden kirjo loputon. Erilaisia päällystettyjä painettuja papereita käytetään perinteisissä painotuotteissa kuten lehdissä, mutta myös tarroissa, erilaisten pakkausten pinnoissa tai kirjojen kansissa ylivetoina.

Kuumaembossausta voidaan verrata tuotantovaiheena hot-foil-käsittelyyn: molemmissa painopinnalle toistetaan lämmön avulla kuvio. Kuvioilla on täysin eri mittakaava, mutta laitteisto voi olla hyvin samanlainen. Hot-foil-käsittely lisää kotelovalmistuksen kustannusta 10...50 % ja nostaa tuotteen läpimenoaikaa tuotannossa huomattavan paljon /30/. Läpimenoajan kasvun kustannus ei ole mukana tässä esitetyissä luvuissa. Mikäli pakkaukselta vaaditaan hyviä barrier-ominaisuuksia, metalloitu substraatti voi silloin olla hyvin helppo ja kannattava ratkaisu niin vaadittujen suojaominaisuuksien kuin optisen efektinkin kannalta.

Label-tuotannossa hot-foil voi lisätä kustannuksia jopa 150 %. Jos käytetään metalloitua substraattia metalliefektien aikaansaamiseksi, kustannusten nousu on luokassa 150...300 % verrattuna etikettiin, jossa ei ole metallointia /30/.

Esimerkkinä diffraktiivisen optisen efektin toistamisen kustannuksesta on kuumaleimatun (hot stamped) hologrammin tekeminen lehden kanteen /37/.

- 3D-mallin valmistus 1000...4000 dollaria yksityiskohtaisuudesta riippuen,
- Masterointi 2000...5000 dollaria kompleksisuudesta riippuen
- Kannessa 7 x 5 cm:n kokoinen hologrammi: mallin valmistus ja masterointi 5500 dollaria, embossaus kalvolle 10 senttiä kuva, kuumaleimaus 3...6 senttiä.

Esimerkin kustannustiedot ovat vuodelta 1989, ja niiden rahanarvoa ei ole muutettu, joten niitä voidaan pitää vain suuntaa antavina. Suurin muutos hinnoissa on luultavimmin 3D-mallien ja mastereiden halpeneminen: nykyään voidaan tehdä 3D-malli tietokoneella ja tulostaa master suoraan siitä. Samoin on myös lukuisia valmiita kirjastoja, joista voi

hankkia mastereita. Itse tuotantoon käytettävien hilalevyjen tuotantokustannusten summa tuskin on muuttunut kovin paljoa.

Kalvon embossauksen hinta on laskenut huomattavasti, sillä se pitää sisällään myös kalvon kustannukset. Vuonna 1989 diffraktiivisen optiikan toistaminen oli hyvin uutta ja materiaalien valmistajia ei ollut monta. Kuumaembossauksella polymeerikalvolle toistetun diffraktiivisen optisen efektin arvioitiin vuonna 1997 maksavan jopa alle 0,001 dollaria neliösentille (embossauslaitteisto 2 metriä leveä ja nopeus 1 m / s) /10/. Itse kuumaleimauksen kustannus lopputuotteeseen on varmaankin lähellä samaa, onhan se ollut jo pitkään vakiintunutta kirjapainotekniikkaa.

Koska tässä työssä tutkittava tekniikka perustuu valmiin painopinnan embossaukseen, on sen kustannusvaikutus siis noin hot-foil-käsittelyn luokkaa. Hot-foil-käsittelyssä kustannukset tulevat enemmän lisäkäsittelystä kuin käsiteltävästä pinta-alasta. Erilliselle kalvolle embossattava efekti ei tule lopputuotteeseen siirrettynä halvemmaksi. Metalloidun substraatin käyttö ei ole pakollista, joten sen kustannusta ei voida laskea tämän tekniikan aiheuttamaksi.

7. Yhteenveto kirjallisuudesta

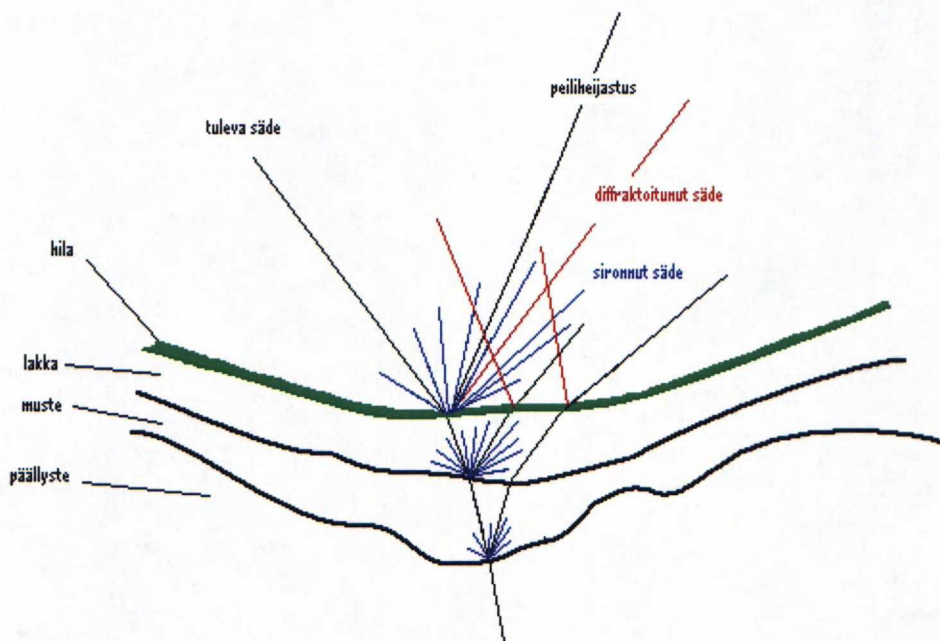
Tässä työssä on tutkittu näkyvällä valolla toimivan diffraktiivisen hilan toistamista paperille painetun pinnan suojalakassa kuumaembossauksella. Kuumaembossaus perustuu joidenkin materiaalien termoplastiseen luonteeseen. Termoplastisuus tarkoittaa sitä, että aineella on olemassa sulamispistettä matalampi lasipisteeksi kutsuttu lämpötila. Lasipisteen ja sulamispisteen välisellä lämpötila-alueella materiaali on edelleen kiinteää, mutta pysyvät muodonmuutokset ovat mahdollisia ilman että aineen rakenne murtuu. Mitä lähempänä aineen sulamispistettä ollaan, sen helpommin aine muokkautuu.

Paperin pinnan epätasaisuuden mittakaava voi olla useita mikrometrejä. Pintaan tuleva painovärikerros on noin mikrometrin luokkaa. Painopinnan suojalakkakerros on täyspeitteinen kenttä, joten senkin paksuus on noin mikrometrin luokkaa. Painovärikerros tasaa merkittävästi paperin epätasaisuutta vain alle 10 mikrometrin alueella. Painetun pinnan tasaisuus on kuitenkin samassa suuruusluokassa kuin painamattomalla paperilla. Painopinnan suojalakkaan toistettavan näkyvällä valolla toimivan diffraktiivisen hilan korkeus on satoja nanometrejä, joten hilalevyn saaminen pintakontaktiin paperille tehdyn painopinnan kanssa vaatii paperilta hyvää kokoonpuristuvuutta, erityisesti pinnan kokoonpuristuvuutta.

Paperin vaikutus hilan toistamisessa painopinnan suojalakalle voidaan jakaa kahteen osaan, painettavan pinnan tasaisuuteen ja painovärikerroksen tasaisuuteen. Painettavan pinnan tasaisuuteen vaikuttavat eniten paperin pinnan tasaisuus, formaatio, kokoonpuristuvuus ja sen vaihtelut sekä paperissa tapahtuvat plastiset, elastiset ja viskoelastiset muodonmuutokset. Painovärikerroksen tasaisuuteen vaikuttavat puolestaan pinta-kerroksen huokoisuus ja karheus, päällystekerroksen ominaisuudet ja painoväriin käyttäytyminen paperin pinnalla. Myös painotekniikalla ja painokoneen säädöillä on vaikutus painovärikerroksen tasaisuuteen.

Näkyvän valon diffraktiivisen hilan toistamisessa on tarkasteltava myös alustan optista käyttäytymistä. Itse hilassa tapahtuvaan diffraktioon ei vaikuta pintamateriaalin väri, mutta osa valosta läpäisee hilan ja kohtaa materiaalit sen alla. Kuva 31 esittää ilmasta hilaan saapuvan säteen käyttäytymistä suojalakan, musteen ja paperin päällysteen rajakerrok-

sisä. Osa säteestä diffraktoituu hilasta takaisin ilmaan päin eikä joudu kontaktiin muun painovärikerroksen kanssa. Jo tässä rajakerroksessa tapahtuu myös heijastumista ja siroamista. Osa valosta kuitenkin läpäisee hilan ja taittuu lakkakerroksen sisään. Lakkakerrokseen joutunut valo (itse asiassa osa tulevasta säteestä diffraktoituu hilasta myös paperiin päin) kohtaa ennemmin tai myöhemmin rajapinnan, jossa taas tapahtuvat siroaminen, heijastuminen ja taittuminen seuraavaan optiseen kerrokseen. Osa näistä uusista säteistä taas kohtaa hilan ja palaa sen läpi ilmaan, osin diffraktioituneena, osin vain taittuneena.



Kuva 31. Lakatulla ja painetulla pinnalla olevaan hilaan osuvan säteen optinen käyttäytyminen rajakerroksissa. Tuleva ja heijastuva säde on merkitty mustalla, diffraktoituva säde punaisella ja sironta sinisellä. Mukana ei ole musteen eikä päällysteen pigmenttejä, joiden pinnalla myös tapahtuu heijastus ja sironta.

Rajakerroksissa tapahtuvan vuorovaikutuksen lisäksi hilan läpi tulleeseen valoon vaikuttavat materiaalien värit. Hilassa valo jakautuu aallonpituuksien mukaisesti puhtaisiin väreihin, mutta lakalla ja musteella on värit, jotka yleensä perustuvat selektiiviseen absorptioon. Tämä vaikeuttaa hilan tehon mittausta. Mikäli hila on tehty suoraan metallipintaan, on käyttäytyminen paljon yksinkertaisempaa, sillä valtaosa metalleista on heijastavia, jolloin valo ei päädy hilan toiselle puolelle. Koska hilan tehokkuuden

mittauksen tulos riippuu hyvin paljon hilan taustalla olevien materiaalien optisista ominaisuuksista, ei eri kokeita voida pitää luotettavasti vertailukelpoisina, elleivät kaikki käytetyt materiaalit ole täysin samoja.

Kirjallisuusosassa kootut tiedot painoväreistä ja lakoista eri painomenetelmissä eivät sulje osaa mustesuihkuja ja UV-kovetteisia painovärejä lukuun ottamatta ainuttakaan painomenetelmää soveltumattomaksi hilan toistamiseen mikroembossauksella. Lähes kaikissa painomenetelmissä käytetään hyvin samantyyppisiä pigmenttejä ja pääasiassa samoja sideaineita ja liuottimia. Osa sideaineista toimii teoriassa hyvin tällä menetelmällä, eli niillä on lämpömuokkautuva ominaisuus, joillakin sideaineilla puolestaan polymerisaatio tapahtuu niin lujin sidoksin, että pysyvää muodonmuutosta on käytännössä mahdotonta tuottaa. Pehmitinaineilla voidaan vaikuttaa polymerisaatioon. Matalan molekyyli­massan polymeerit ovat teoriassa paremmin muokkautuvia. Teoriassa voidaan olettaa lämpömuokkautuvien painovärien saavuttavan paremman tehon, kun lämpötilaa kohotetaan.

Kuumaembossauksella painopinnan suojalakkaan toistettavan diffraktiivisen hilan (eli painetun optisen efektin) kustannus jakautuu lähtökustannukseen ja itse embossauksen yksikkökustannukseen. Lähtökustannuksien syntyyn vaikuttavat kulut, jotka syntyvät hilalevyn alkuperäisen 3D-mallin valmistuksesta, masteroinnista sekä itse kopiointiin käytettävän hilalevyn valmistusvaiheista. Lähtökustannuksen määrää on hyvin vaikea arvioida, sillä mallinnusta ja masterointia ei välttämättä tarvitse tehdä lainkaan, jos saatavilla on valmis originaalipelti. Embossauksen yksikkökustannus on luultavasti samaa luokkaa kuin hot-foil-käsittely.

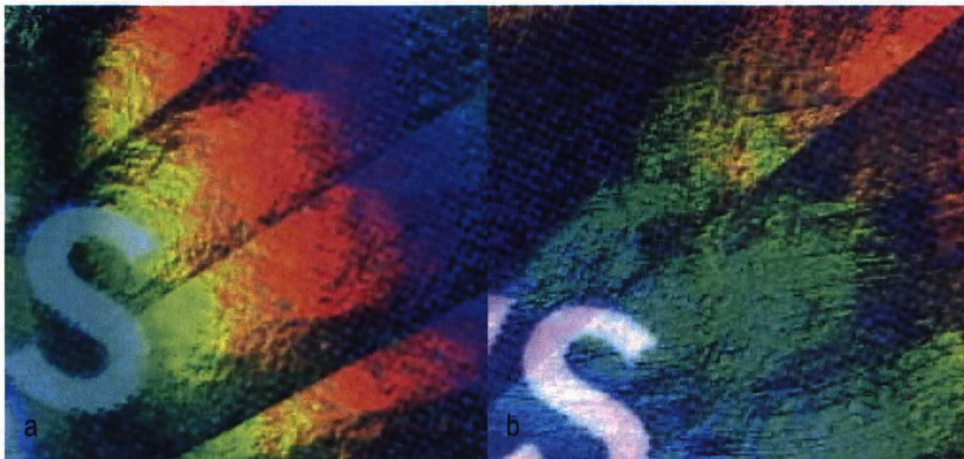
Kokeellinen osa

8. Optinen efekti painopinnassa

Tämän työn kokeellisessa osassa käytettävä tekniikka perustuu hilan toistamiseen päällystetylle paperille painetulle ja suojalakatulle pinnalle lämmitetyllä hilalevyllä puristamalla. Tärkeimmät hallintasuureet tuotantotekniikassa ovat puristukseen käytettävä aika, paine ja lämpötila. Näiden suureiden vaikutuksesta ei kuitenkaan ollut mitään dokumentoitua koe-materiaalia, joten kokeellisen osan tavoitteena oli tutkia hallintasuureiden vaikutuksia. Näiden lisäksi materiaalivalinnoilla on oma merkittävä osuutensa.

Tässä työssä tutkittava optinen efekti on diffraktiivinen hila, joka toimii näkyvällä valolla ja on toistettu kuumaembossauksella painopinnan suojalakkaan. Valtaosin kokeissa on käytetty painoalustana päällystettyä painopaperia, mutta joitakin kokeita on tehty myös metalloiduilla papereilla. Metalloiduilla papereilla tehtyjen kokeiden tulokset olivat huomattavan hyviä. Lisäksi metalloitu paperi antaa tulosten tarkasteluun vertailusarjan, jossa painoväriä ei pääse imeytymään pinnalta.

Tuotantokoeajoissa hilan toistossa käytettävä hilalevy puristetaan kuumennettuna painopintaa vasten puristusvyöhykkeessä, jossa hila toistuu suojalakan pintakerrokseen. Jos toistuminen ei tapahdu kunnolla, voi syntyä niin sanottua kuollutta pintaa (Kuva 32).

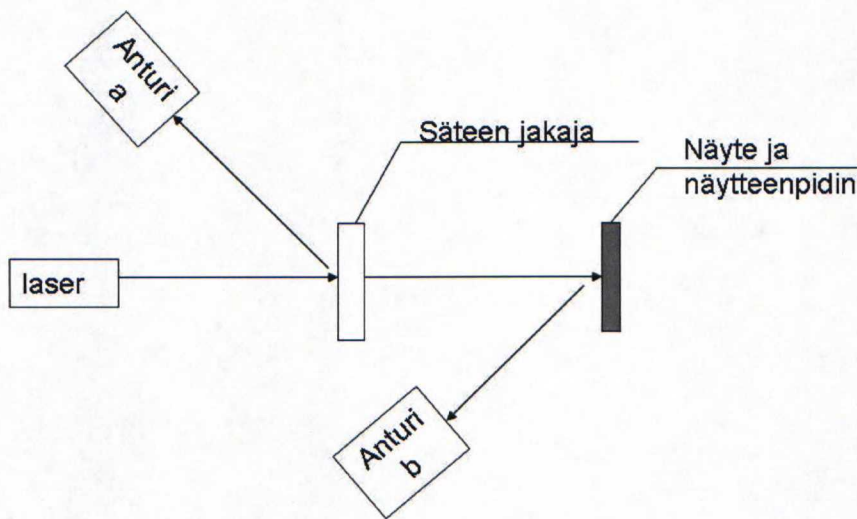


Kuva 32. Painopinnan suojalakkaan toistettu optinen efekti. Hila on toistettu tummansinisellä taustalla olevan valkean tekstin päälle. a) Hyvin toistunut hilapinta, jossa diffraktio tapahtuu koko alueella. b) Heikosti toistunut hilapinta, jossa osa pinnasta on kuollutta pintaa eli diffraktio ei tapahdu koko alueella.

9. Diffraaktiivisen hilan tehonmittaus

Diffraaktiivisen hilan tehon mittaukset sarjoissa MTS1 ja tuotanto1 on tehty Oulun VTT:n Optoelektroniikan yksikössä. Kuva 33 esittää mittauslaitteiston periaatetta. Mittauslaitteisto oli koottuna optiseen penkkiin. Tehoa mitattaessa laserista tulevaa sädettä katkottiin pyöreällä sakaralevyllä tunnetulla taajuudella. Katkomisen jälkeen säde jaettiin kahtia. Toinen säde ohjattiin suoraan taustamittarille. Toinen säde kohdistettiin näytteenpitimessä olevaan näytteeseen, josta säde diffraktoitui. Mittauksessa mitataan diffraktoituneen säteen ensimmäinen maksimi ja tätä arvoa verrataan taustamittarin antamaan suoraan tulleen säteen tehoon kaavan 3 mukaisesti

$$v = \frac{I_0}{I_{\text{Diff}}}. \quad (3)$$



Kuva 33. Diffraaktiivisen hilan tehonmittauksen periaate. Anturi a mittaa näytteeseen kohdistettavaa sädettä ja anturi b mittaa ensimmäistä diffraktiomaksimia.

Näytteenpidin oli moottoroitu ja sitä ohjattiin mittausohjelmistolla: yksittäisellä mittauserällä mitattiin viisi erillistä pistettä. Mittaus tehtiin kaksi kertaa eri kohdilta, jotta pinnan edustavuus paranisi. Ennen mittausta näyte pyrittiin sijoittamaan siten, että kaikki mittauspisteet olivat näytteessä olevan hilan yhdensuuntaisella alueella eivätkä kovin lähellä

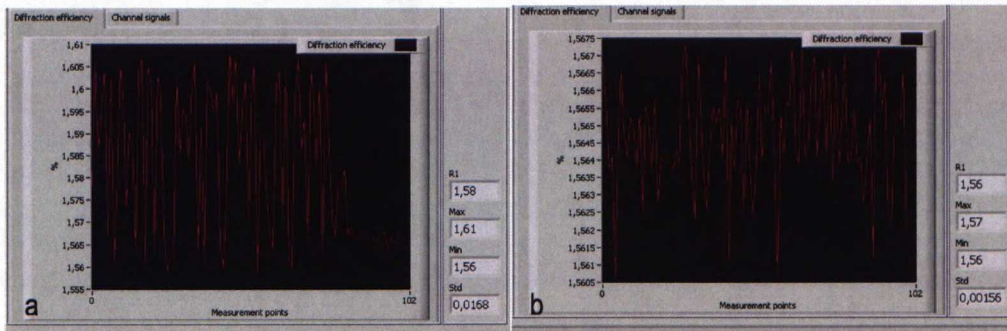
kuollutta pintaa. Mittauksessa seurattiin vain tunnetulla taajuudella tulevaa säteilyä. Tämä järjestely tehtiin siksi, ettei ei olisi tarvinnut mitata vailla muita valonlähteitä.

Diffraaktiivisen hilan tehonmittauksessa painetulta pinnalta suurimpia virhelähteitä on esitelty kappaleessa 2.2.3. Tässä mittausjärjestelyssä suurimpia virhelähteinä ovat värillisen pohjan absorboima säteilyn määrä, painopinnan mikrokarheudesta aiheutuva sumuinen piste, kun hilapinta on toistunut epätasaiselle pinnalle, sekä kuollut pinta. Viimeksi mainitun merkitys voi olla suurikin, vaikka mittauksessa koetettiin valita alue, jossa kuollutta pintaa olisi mahdollisimman vähän. Etenkin MTS-laitteistolla tehdyissä kokeissa tasaista ja samansuuntaista hilapintaa oli varsin vähän, osin kokeessa käytetyn hilalevyn designin vuoksi.

Taustavalon määrä ja mittausgeometria ovat systemaattisia virheitä, jotka ovat kaikilla saman laitteiston mittauksilla samanlaisia. Sen sijaan aallonpituuden, hilavakion ja polarisaation vuorovaikutus sekä painoalustan absorboima säteily ovat koepisteiden kesken erilaisia, mutta samoilla materiaaleilla tehdyissä pisteissä niiden vaikutus on yhtä suuri.

Tuotanto2-sarjan hilatehot on mitattu VTT:n kehittämällä kannettavalla prototyypimittarilla. Mittauksen periaate oli sama, mutta nyt koko järjestelmä oli koottu helpommin kuljetettavaan pakettiin ja mittauspisteen tulos oli sadan mittauksen tulos sekunnin ajalta. Tällä mittarilla mittausepävarmuutta lisäsivät vielä mittarin geometriset rajoitukset: osalla mittauspisteistä diffraktiomaksimia oli vaikea saada osumaan mittarin mittausikkunaan sekä pisteiden sumuisuuden että liikeradan pystysuunnan lyhyiden vuoksi. Joitakin pisteitä mitattaessa oli jopa laitettava pieni koroke mittarin toisen pään alle, jotta diffraktiomaksimi osui mittausikkunaan. Tämä muuttaa niiden pisteiden mittausgeometriaa hyvin paljon.

Joillakin mittauskerroilla kannettavan mittarin tuloksissa vaikutti olevan jännitepiikki tai piikkejä, jotka nostivat mitattuja huipputehoja niin, että mittaustuloksen hajonta muuttui noin kymmenkertaiseksi yleiseen tasoon verrattuna. Ohessa on saman pisteen mittauksesta kaksi kuvaa, joissa ovat nähtävissä ilmiön myötä kohonneet maksimitaso ja hajonta. Kuvien mittaukset on tehty täysin samalta kohtaa näytettä. Mittausdatasta poistettiin pisteet, joiden hajonnat olivat poikkeuksellisen korkeat, ja ne mitattiin uudelleen.



Kuva 34. Kaksi mittausta samasta näytteestä samalta kohtaa. Mittarin virtapiikki nostaa mittauksen keskiarvoa ja kasvattaa hajonnan kymmenkertaiseksi. a) mittarin virtapiikki b) onnistunut mittaus.

10. MTS-laitteistolla tehty sarja 1

10.1. Materiaalit

Kokeiden tavoitteena oli tutkia kolmen eri lakan sopivuutta diffraktiivisen hilan toistamiseen embossaamalla sekä päällystetyllä painopaperilla että metalloidulla paperilla. Papereina olivat Galerie Art Gloss 150 g/m² ja Slate metallized brite plain 73 g/m².

Kokeissa tehtiin lämpötilasarjat Prüfbau-liuskoihin, joissa on eri lakoilla tehdyt päällystämääräsarjat. Lakoilla A ja B levitysmäärät olivat 1, 1,5 ja 2 grammaa neliömetrille. Lakalla C levitys oli tehty hiotuilla levitysteloilla, joilla annostelun määrä ei ole yhtä tarkka, minkä vuoksi lakan C määrät on ilmoitettu vain määreillä pieni, normaali ja suuri, jotka viittaavat likimääräisesti painossa käytettävään normaaliin annosteluun.

Taulukko 8. MTS-kokeessa käytetyt materiaalit.

Substraatti	Painoväri	Lakka
Päällystetty paperi 150 g/m ²	3 tasoa	Ei lakkaa
	Ei väriä	3 lakkaa, 3 tasoa
	1 taso	3 lakkaa, 3 tasoa
Metalloitu paperi 73 g/m ²	3 tasoa	Ei lakkaa
	Ei väriä	3 lakkaa, 3 tasoa

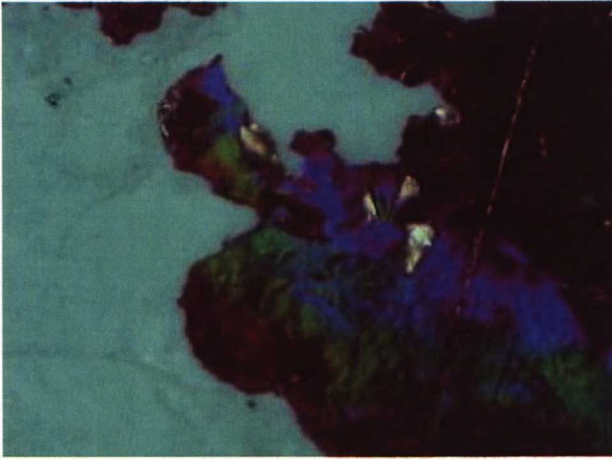
Paperinäytteillä tehdyissä kokeissa käytettiin sekä painetuille että painamattomille papereille tehtyjä lakkamääräsarjoja. Näiden lisäksi testattiin pelkällä painomusteella tehdyt vastaavat sarjat. Metalloituja papereita oli vain käsittelemättöminä ja lakattuina. Kaikki lakat ja painovärit olivat kuivuneet yli kaksi viikkoa ennen embossausta.

10.2. Laitteisto ja koejärjestely

Paperitekniikan laboratoriossa olevalla Material Test System -laitteistolla tehtiin Prüfbau-koeliuskoihin hiloja eri lämpötiloissa. Puristimessa olevaa päätä lämmitettiin sähkövastuksella, joka on pään yläosassa. Pään alapintaan kiinnitettiin ruuveilla alumiinilevy, josta mitattu lämpötila on tuloksiin merkitty lämpötila. Hilalevy oli kiinnitetty kaksipuolisella teipillä

yhden millimetrin paksuiseen rautalevyyn. Hilalevy ja rautalevy olivat vapaasti testiliuskaa vasten.

Koeliuskoille embossattiin lämpötilasarjat aloittaen 70 °C:n lämpötilasta. Lämpötilaa kohotettiin 10 asteen askelissa, paitsi suurimman osan painopaperille tehdyistä näytteistä hajottua ainakin osittain 110 °C:ssa tehtiin myös 115 °C:n piste. 120 asteen jälkeen jatkettiin taas 10 asteen askelin. Kun näyte ”paloi” hilalevyyn kiinni niin paljon, että suuri osa kontaktialasta hajosi hilaa irrotettaessa, sitä ei enää otettu mukaan korkeampiin lämpötiloihin. Hilaan kiinnipalaneet näytteet hajosivat aina paperin ja päällystekerroksen välisestä rajasta.



Kuva 35. MTS-kokeessa hilaan kiinnijäänyt näyte, jossa päällysteen ja paperin välinen kontakti on pettänyt. Magentalla painopinnalla on nähtävissä valon diffraktio; valkea pinta on pohjapaperi, josta päällystekerros on irronnut.

Puristuksen vaikutusaikana pidettiin 800 ms ja voimana 10 kN. Puristusprofiili noudatti sini-käyrän jaksonpuolikasta. Testiliuskan taustalla oli 30 mm x 25 mm kokoinen imukartongin pala, joka määräsi alueen, johon hila toistuu. Koko paketin taustalla oli vielä kokonainen imukartonki, jonka päällä asettelu tehtiin ja paketti siirrettiin puristuspäiden väliin. Käytännössä näytesarjoja tehtäessä peräkkäisiä painamisia ei voitu tehdä kovin nopeasti, vaan lämpötilan oli annettava nousta painamisten välillä.

Suurin ero tuotantolaitoksissa tehtyihin koesarjoihin on se, että puristuksen alkaessa hila-levy on kylmä, joten kontaktiajan on oltava riittävän pitkä, jotta levy ehtii lämmetä riittävästi.

Kuiva lakkakerros on pääasiassa erilaisia polymeerejä (akrylaattia, hartseja jne.), joiden lämmönjohtavuus on luokassa 0,14...0,5 W / m K, kun taas paperi on hyvä lämmöneriste, sen lämmönjohtavuus noin 0,05 W / m K. Vertailun vuoksi mainittakoon, että teräs on luokassa 50 ja nikkeli 91 W / m K.

Painossa tehtävät näytteet ovat kosketuksissa kuumaan hilalevyyn vain muutamia millisekunteja, joten siellä kontaktiaika on alle puoli prosenttia tässä kokeessa käytetystä. Tämä vaikuttaa lämmönsiirrossa muun muassa siten, että kaikki painoväri ehtii lämmitä enemmän kuin tuotantolaitoksissa käytetyssä nippiprosessissa, jossa lämpöä ei ehdi johtua yhtä paljon ja yhtä syvälle. Tällä on vaikutusta painoväriin ja paperin päällysteen kontaktiin, mikä voidaan havaita lakan ja päällysteen palamisesta kiinni hilalevyyn paljon matalammilla lämpötiloilla kuin painossa.

Tehdyistä näytteistä mitattiin saavutetut hilatehot VTT:n Optoelektroniikan yksikössä Oulussa. Mittaustulokset on esitetty työn lopussa liitteessä 1. Optiseen penkkiin kootulla laitteistolla mitattaessa ongelmana olivat käytetyn hilakuvion pienet yhdensuuntaiset hilapinnat. Koska mittaukset on tehty sarjana lähekkäisiä pisteitä, osa mittauksista on myös voinut osua kohdille, joilla on kuollutta tai heikosti toistavaa pintaa. Tämän vuoksi uusittiin ne mittaukset, joiden sisällä oli hyvin paljon muita heikompia pisteitä. Mittauksista laskettiin kymmenen pisteen keskiarvot.

10.3. Tulokset ja niiden tarkastelu

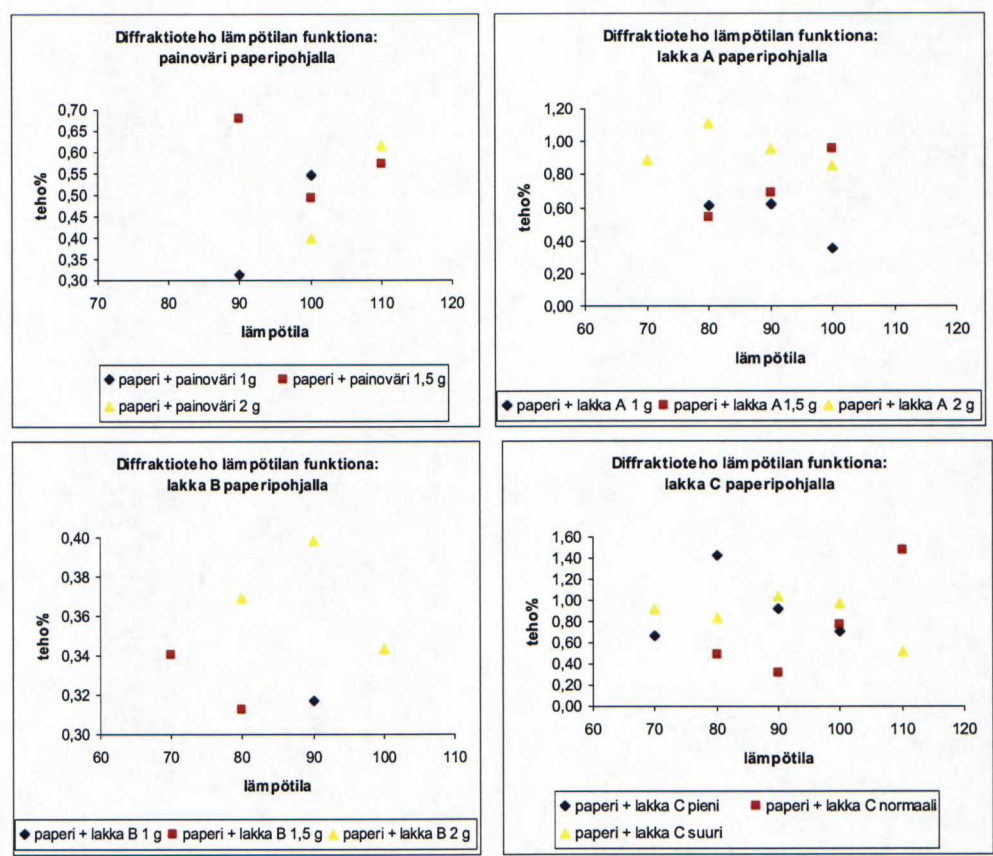
Kokeiden selittävyys ja ennustavuus on varsin heikko. Koesuunnitelmaa ei ole tehty tulosten tilastollista tarkastelua ajatellen, kokeista puutuivat keskipisteessä tehtävät toistot ja muutoinkin rinnakkaismäärittäyksiä oli vähän. Tulosten tarkastelua heikentää osaltaan myös luokittavien (kvalitatiivisten) muuttujien runsas määrä. Lisäksi koesuunnitelmasta puuttuvat kokonaan pisteet, joilla voisi arvioida lakan alla olevan painoväriin määrän vaikutusta saavutettavaan hilatehoon. Lakan alla olevan väri- ja päällystekerroksen vaikutusta tulisi muutoinkin tutkia lisää.

Osin huono selittävyys myös johtuu siitä, että materiaalit ja yhdistelmät olivat ennalta tuntemattomia ja MTS-laitteistolla tehtävät kokeet eivät täysin vastanneet kirjapainossa tehtävää tuotantoa. Suurin ero tässä suhteessa on hilalevyn lämmityksen puute ja siitä seu-

raava tarve pitkän kontaktiajan käyttöön. MTS-kokeessa kontaktiaikana on ollut 800 millisekuntia, kun painossa paperin ja hilalevyn kontakti kestää vain muutamia millisekunteja.

10.3.1. Yksi painokerros substraatilla

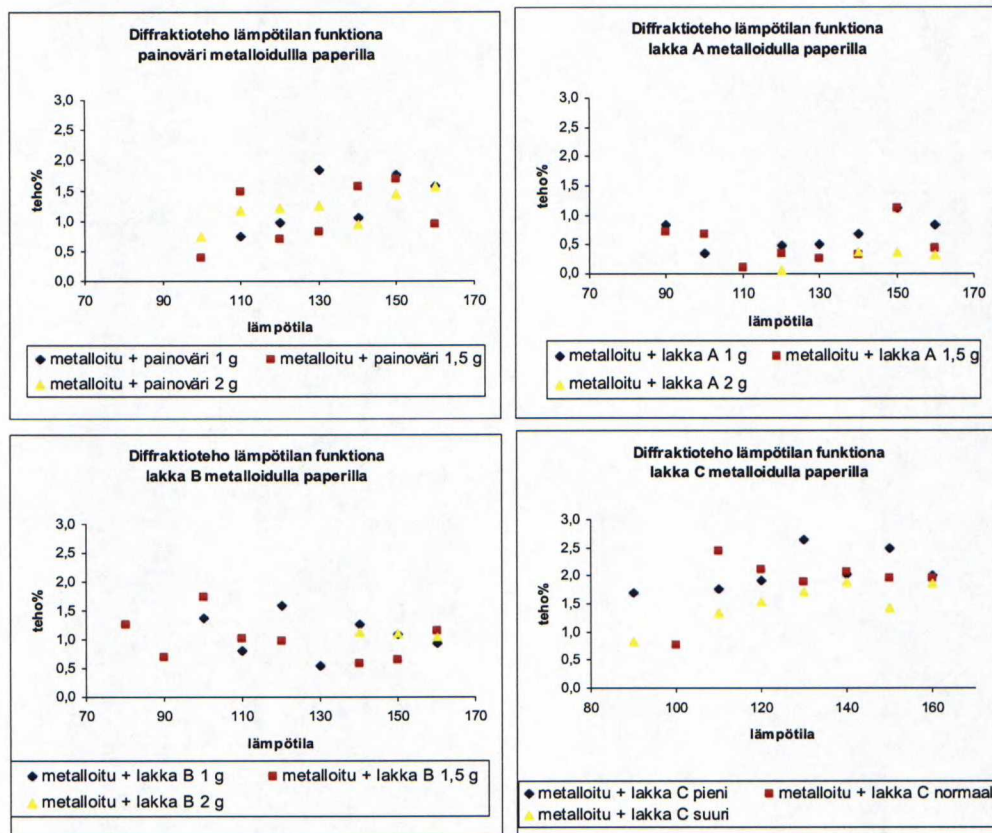
Suoraan tavalliselle painopaperille painettuun muste- tai lakkakerrokseen toistetuissa hiloissa lämpötilasarjat eivät toimi kovin hyvin (Kuva 36). Lämpötilasta ja lakasta riippumatta tulokset vaihtelevat hyvin paljon molempiin suuntiin. Lisäksi kaikilla näytteillä ei saatu aikaan kattavia lämpötilasarjoja.



Kuva 36. Diffraktioteho lämpötilan funktiona eri lakoilla ja painovärillä suoraan paperille painettuna. Paperille painettu yksi painovärikerros ei toimi hilan toistamiseen riittävänä pohjana. Kuvaajien skaalat on valittu yksittäisten materiaalien tulosten mukaan havainnoinnin helpottamiseksi.

Sen sijaan metalloidulla paperilla olevaan painovärikerrokseen toistettu lämpötilasarja käyttäytyy teorian perusteella odotetusti: lämpötilan myötä saavutettu hilateho kohoaa (Kuva 37). Myös koesarjat, joissa lakkakerros on painettu painovärikerroksen päälle,

käyttäytyvät lähes samoin kuin metalloidulla paperilla olevat painoväri- ja lakkakerrokset. Metalloidulla paperilla tosin ei tehty yhtään koetta, jossa lakan alla olisi ollut myös painovärikerros. Näistä materiaaleista lakka C vaikuttaa toimivan parhaiten, sillä saavutettava teho on paras ja lämpötilan kohotessa myös teho kohoaa selkeästi.



Kuva 37. Diffraktioteho lämpötilan funktiona metalloidulle paperille tehtyyn yhteen painovärikerrokseen eri lakoilla ja painovärillä toistettuna.

Syynä hilan heikkoon toistoon vain yhden paperille painetun kerroksen pinnassa on luultavasti alustan liian suuri epätasaisuus sekä pinnanmuotojen että musteen imeytymisen suhteen. Tutkimuksissa on todettu painomusteen pigmenttien ja liuotinöljyn absorboituvan niin päällystettyyn kuin päällystämättömäänkin paperiin /38, 39, 40/.

Musteen imeytyminen päällystettyyn paperiin voidaan jakaa kolmeen osaan /40/. Ensin vapaa neste (liuotinta ja sideainetta) imeytyy päällysteen huokosrakenteeseen, mitä säätelevät huokosten kapeikot. Samalla musteen viskositeetti kasvaa muodostamatta

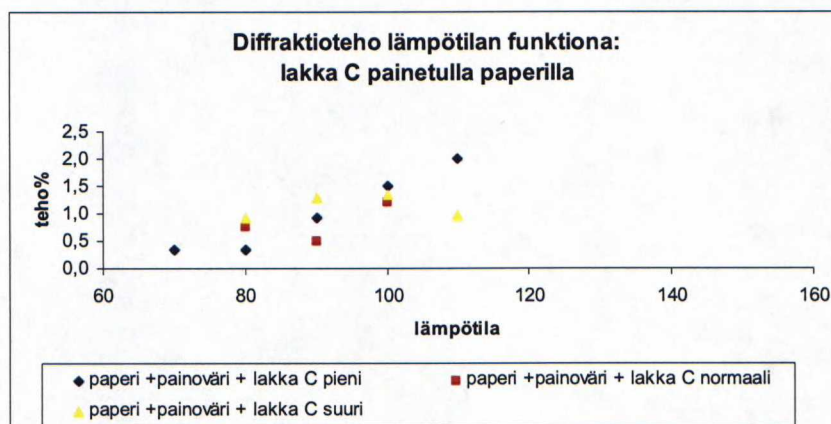
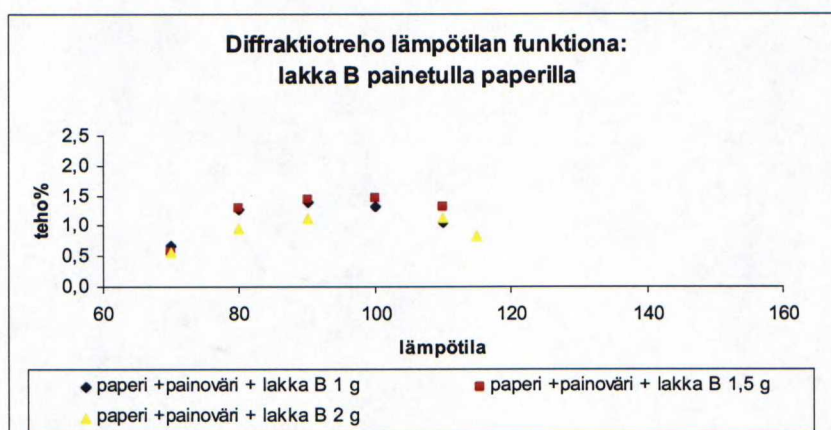
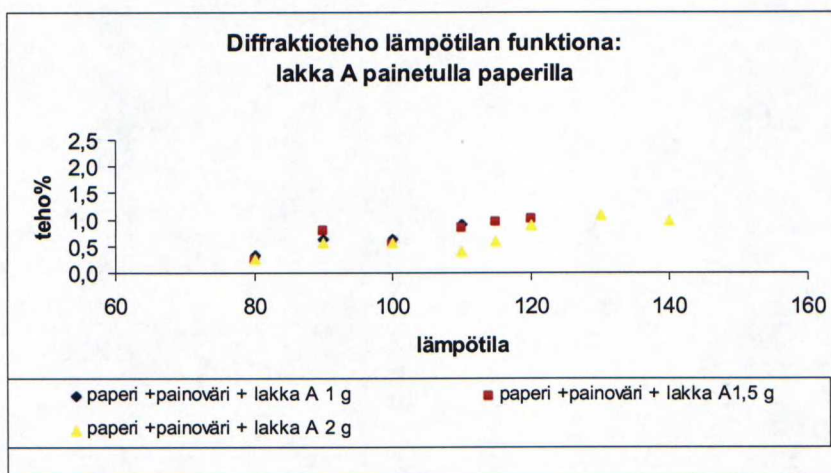
suodoskakkua. Lopuksi musteen sideaine kovettuu paperille sitoen musteen. Koska päällystetyinkin paperin pinnassa on huomattavasti epätasaisuutta, erilaista huokosrakennetta ja päällysteen eri komponentteja, ei yhdellä painovärikerroksella saada riittävän tasaista pintaa hilan tuottamiseen.

Metalloidulla paperilla pinnan sulkee ohut metallikerros, joka toimii erinomaisena barrierkerroksena, joten muste- tai lakkakerros ei pääse imeytymään edelleen vaan jää kokonaisuudessaan pintaan. Metalloiduilla näytteillä lämpötilasarjat lopetettiin 160 °C:n lämpötilaan, jossa vielä ainoakaan metalloiduista näytteistä ei ollut palanut kiinni. Metalloitujen näytteiden toistava lämpötila-alue oli myös huomattavasti paperinäytteitä laajempi. Syitä näihin voivat olla metalloidun pinnan parempi kestävyys, metalloidun pinnan suurempi pintalujuus ja tasaisuus tai metalloidun pinnan kyky jakaa mekaaninen rasitus ja lämpö paremmin.

10.3.2. Kaksi päällekkäistä painokerrosta substraatilla

MTS-lämpötilasarjoissa, joissa lakkaukset on tehty magentan painovärin päälle paperisubstraatilla, havaitaan hilatehojen selkeästi kohoavan lämpötilan mukana. Lakkojen välillä on hyvin suuria eroja siinä, miten voimakkaasti hilan teho kohoaa lämpötilan mukana.

Lakka B tekee poikkeuksen tähän trendiin: sillä saavutetaan selkeä maksimikohta, jonka jälkeen hilatehot alkavat laskea. Tämä ilmiö noudattaa termoplastisuuden teoriaa: on odotettavissa, että liian lähellä sulamispistettä osa lakasta voi muuttua niin pehmeäksi, ettei hilakuvio säily kunnolla. Selitys siihen, miksi tämä käyttäytyminen havaitaan vain yhdellä lakalla, voi olla se, että muilla käytetyillä lakoilla lasipisteen ja sulamispisteen välinen lämpötilaero on liian pieni tai lakkakerros kokonaan lämmitessään muodostaa liian kestävän kontaktin hilalevyyn ja paperin päällysteeseen, jolloin päällystekerroksen ja paperin välinen kontakti pettää.



Kuva 38. Diffraktioteho lämpötilan funktiona eri lakoilla painetulla paperilla.

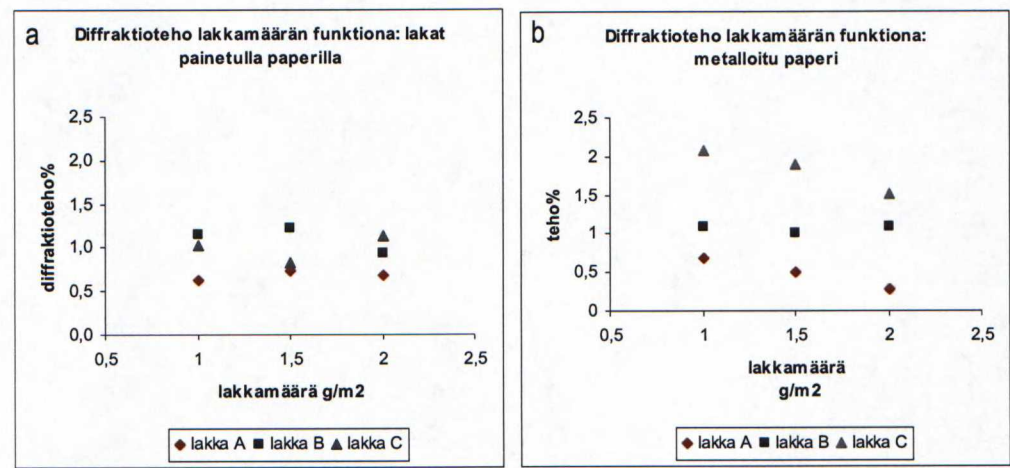
Mikäli hilalevyn kontakti lakkakerrokseen on liian kestävä, voisi hilalevyssä kenties käyttää jonkinlaisia irrotusaineita. Irrotusaineiden käytössä on kuitenkin vaarana, että ne voivat olla hilassa epätasaisena kerroksena, jolloin ne voivat vaikuttaa toistettavan hilan muotoon.

Tuotantolaitteistolla lämmönsiirto tapahtuu huomattavasti nopeammin kuin tällä laitteistolla, joten siellä painovärikerroksen ja päällysteen rajapinta ei ehdi lämmetä yhtä paljon.

Verrattaessa vain yhden painovärikerroksen näytteisiin huomataan kahden painokerroksen näytteillä laajempi hilaa toistava lämpötila-alue. Syy kahden painovärikerroksen paremmuuteen hilan toistossa on todennäköisesti alla olevan kerroksen tasoittuminen ja musteen kaikkien komponenttien jääminen paremmin paperin pinnalle sen jälkeen, kun alla oleva mustekerros on tasoittanut ja sulkenut paperin päällysteen pinnan lakan imeytymiseltä.

10.4. Lakkakerroksen paksuus

Tutkittaessa eri lakkojen toistavan alueen tulosten keskiarvoja lakkamäärän funktiona huomataan erityisesti metalloidulle paperille tehdyissä hiloissa lakkamäärän lisäämisen laskevan saavutettavaa hilatehoa. Paperille painetuissa näytteissä ilmiö ei näy yhtä selkeästi.



Kuva 39. Toistavan lämpötila-alueen keskimääräinen diffraktioteho lakkamäärän funktiona. a) lakat painetulla paperilla b) lakat metalloidulla paperilla.

Yhtenä syynä tähän havaintoon voi olla lakkakerroksen paksuuntumisen mukanaan tuoma pinnan suurempi epätasaisuus. Suurempi epätasaisuus voi johtua paksun lakkakerroksen epätasaisesta halkeamisesta painonipissä. Toinen mahdollisesti ilmiötä selittävä tekijä voi

olla paksummasta lakkakerroksesta aiheutuva pohjalla tapahtuvan sironnan ja heijastumisen heikkeneminen valon kulkiessa pidemmän matkan lakkakerroksessa. Tästä ilmiöstä ei voi kuitenkaan näiden koepisteiden perusteella sanoa mitään varmaa, vaan se vaatisi lisätutkimuksia.

11. Tuotantolaitteistolla tehty sarja 1

11.1. *Materiaalit*

Tässä koeajossa ajettiin pieni tuotantoerä lehdenkansia. Liitteenä 2 on kansi, jossa on hilakuvio, ja liitteenä 3 ovat tulostaulukot. Käytettävänä paperina oli vain yksi 170 g/m²:n puuvapaa monikerrospäällystetty himmeäpintainen painopaperi (Stora Enson Lumisilk).

Eri lakkoja oli kolme, joista yksi oli jo ennen tätä diplomityötä tehdyissä kokeissa hyvin toimivaksi tunnettu. Sillä oli myös tehty koepisteet, joissa sama lakkamäärä oli levitetty sekä yhtenä paksuna kerroksena että kahtena ohuena kerroksena. Painotyöt oli tehty useita päiviä ennen embossausta.

11.2. *Laitteisto ja koejärjestely*

Laitteisto oli vanha laakapainokone, joka oli muutettu pääasiassa preeglaukseen ja nuutaukseen käytettäväksi. Koeajossa painolevyn paikalle asennettiin lämmitettävä taso, jonka pintaan kiinnitettiin alumiinilevy. Alumiinin pinnassa oli teipattuna millin pelti, johon hilalevy teipattiin. Pellin avulla säädeltiin toistettavaa aluetta hilalevyssä. Paperi tuotiin hilalevylle vastasynterin pinnassa ja käytettävän puristuspaineen säätö tehtiin vastasynterin metallipeitteen alle asetettavien arkkien avulla. Peitteen alla käytettiin neljää tai viittä paperiarkkia. Lisäksi käytettiin paineen toispuolisuuden säätöön tarvittaessa silkkipaperia.

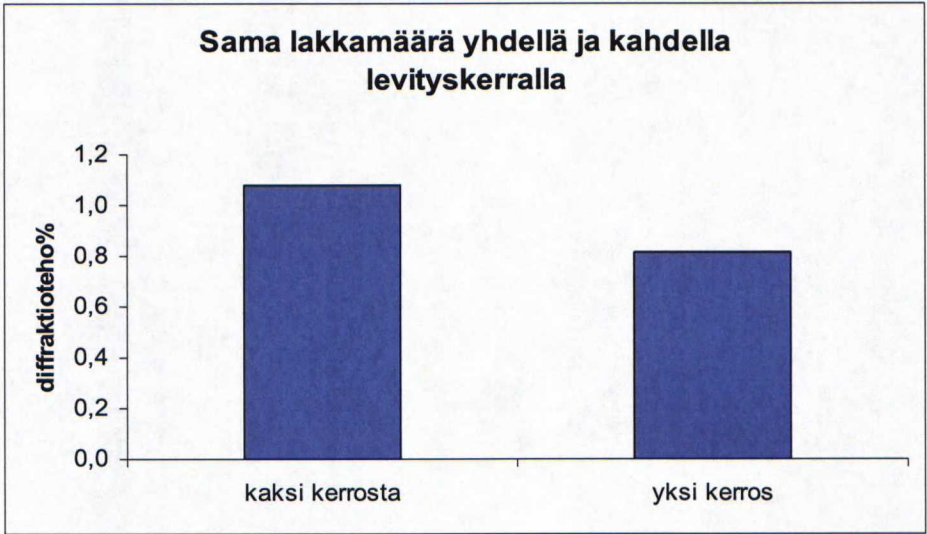
11.3. *Tulokset ja niiden tarkastelu*

Koeajossa oli kolmea eri lakkaa, joista yksi oli tunnettu aiemmista koeajoista. Kuva 40 esittää samoissa olosuhteissa saavutettuja tehoja näillä lakoilla. Ennen lakasta toiseen siirtymistä hilalevy puhdistettiin. Lakkojen välisiä eroja ei selitä mikään muu kuin lakkojen ja paperin keskinäisten ominaisuuksien vaikutus hilan toistossa.



Kuva 40. Koeajossa olleiden lakkojen diffraktiotehot tuotantoajoon käytetyissä olosuhteissa.

Entuudestaan tunnetulla lakalla (Kuva 40, paras teho) tutkittiin myös kaksoiskerroksen vaikutusta (sama kerros lakkaa levitetty kahtena ohuena ajona ja yhtenä paksuna kerroksena) samoissa olosuhteissa (Kuva 41). Kahtena kerroksena levitetyllä lakkakerroksella saatiin huomattavasti parempi teho verrattuna yhtä suureen yhtenä kerroksena levitettyyn lakkakerrokseen.



Kuva 41. Samoissa olosuhteissa saavutetut diffraktiotehot, kun sama lakkamäärä on levitetty yhdellä paksulla ja kahdella ohuella kerroksella.

Parempi teho kaksoislevityksessä voi johtua ohuen kerroksen tasaisemmasta levittymisestä ja halkeamisesta sekä telastolla että painonipissä paksuun kerrokseen verrattuna. Painovärikerros tasoittaa epätasaisuuksia juuri pienimittakaavaisella alueella, joten useammat ja ohuemat painovärikerrokset voivat tasoittaa koko painovärikerroksen paksuutta ja parantaa hilalevyn ja suojalakan kontaktia puristuksessa. Lisäksi, kun alla oleva painopinta on rasteroitu, voi siinä olla aukkoja mustekerroksessa, jolloin suojalakkakerros voi olla ensimmäinen pinnan kokonaan peittävä kerros.

12. Tuotantolaitteistolla tehty sarja 2

12.1. *Materiaalit*

Tässä koeajossa tehtiin samalla Avantone Oy:n markkinointimateriaalia. Kaikki paperit oli painettu samalla musteella, jonka päälle oli tehty suojalakkaus. Metalloidulla paperilla oli käytetty hapettumalla kuivuvaa mustetta. Kokeessa oli mukana neljä eri lakkaa. Painotyöt oli tehty kaksi päivää ennen embossausta.

Koeajossa oli useita painoalustoja. Tässä työssä tarkastellaan vain papereita, sillä aika-
taulun vuoksi metalloidulla paperilla olevia näytteitä ei ajettu riittävästi eri oloissa, jotta niistä olisi saanut oman sarjan. Paperien neliömassat olivat 70 g/m²...275 g/m² väliltä, ja niissä oli käytetty eri päällysteitä. Käytetyt paperit olivat päällystetty kiiltävä etikettipaperi 70 g/m² (Intact Ahlström), valupäällysteinen korkeakiiltainen paperi 80 g/m² (StoraEnso Supercote), kolmeen kertaan teräpäällystetty painopaperi (Galerie Art 170 g/m²) ja kaksi kertaa teräpäällystetty puolikiiltävä taivekartonki 275 g/m² (Incada Exel).

12.2. *Laitteisto ja koejärjestely*

Tämäkin laitteisto oli vanha laakapainokone, joka oli muutettu hot-foil-tuotantoon käytettäväksi. Koneessa oli painolevyn paikalla valmiina lämmitettävä taso, jonka pintaan hilalevy kiinnitettiin alumiinilevyn teipattuna. Paperi tuotiin hilalevylle vastasyntierin pinnassa ja käytettävän puristuspaheen säätö tehtiin vastasyntierin peitteen alle asetettavien arkkien avulla. Syntierin peite on kalibroitu pahvi, jonka alla on paksumpi kerros paperia (noin 10 arkia) kuin tuotantokoeajossa 1.

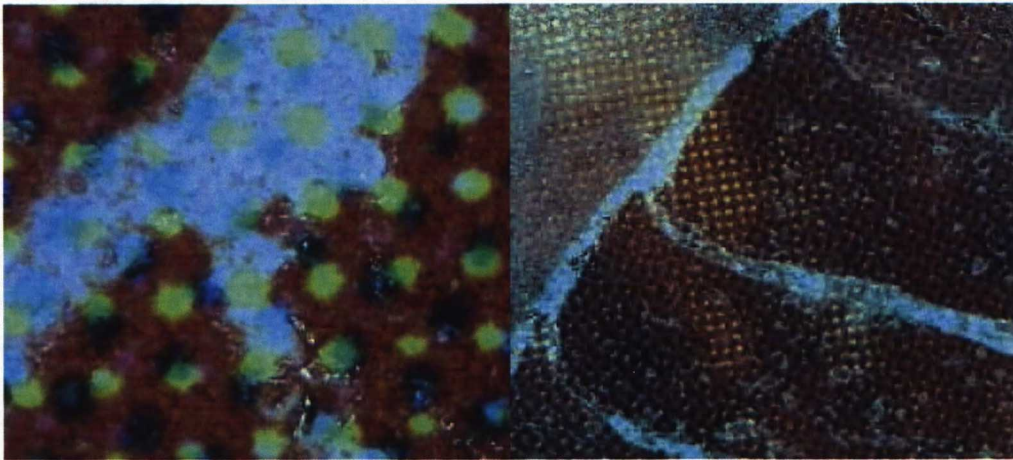
Koneen puristusta säädellään paitsi syntieripeitteen alla olevilla papereilla myös koneen omalla säätömekanismilla. Puristus oli vähän epätasainen, vaikka taustapahvin alle pantiin uudet paperit. Epätasaisuutta säädettiin paperiarkeilla ja puolikkaila, kuten edellisessäkin tuotantoajossa.

12.3. Tulokset ja niiden tarkastelu

12.3.1. Toimimattomat materiaalit

Osa tutkituista materiaaliyhdistelmistä osoittautui toimimattomiksi, joten niillä ei jatkettu kokeita sen enempää. Tästä syystä kaikista materiaaleista ei saatu mitattavia tuloksia. Mitatut tulokset ovat taulukoituna liitteessä 4.

Valupäällysteisellä korkeakiiltoisella paperilla 80 g/m² (StoraEnso Supercote) painovärin ja paperin päällysteen välinen kontakti pettää osittain embossauksessa (Kuva 42). Rasterikuvi jatkuu yhtenäisenä myös vahingoittuneilla kohdilla, joten itse painovärikerros on säilynyt ehjänä. Ilmeisesti päällysteen pinnan ja painovärin kontakti ei ollut riittävä kestäämään embossauksesta syntyviä rasituksia.



Kuva 42. Valupäällysteisellä paperilla tapahtunut painovärikerroksen osittainen irtoaminen. Painovärin rasteri jatkuu yhtenäisenä yli vauriokohdan, joten itse painoväri on säilynyt ehjänä. Kuvissa eri suurennokset.

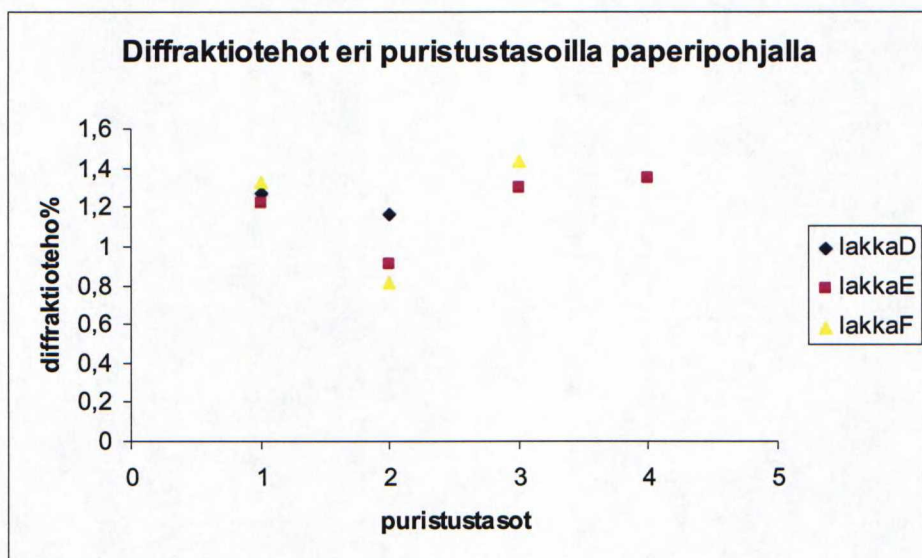
Incada 275 g/m²: (Incada Exel, 275 gms kaksi kertaa teräpäällystetty puolikiiltävä taivekartonki (FBB)) muste ei ollut kunnolla kiinni kartongin päällysteessä. Painaminen ja lakkaus oli tehty kaksi vuorokautta ennen embossauksia, joten lakan ja musteen olisi oletettavasti ehtivän kuivumaan riittävästi. Lakan ja musteen on oltava täysin kuivaa embossattaessa, joten ilmeisesti tämä materiaaliyhdistelmä olisi vaatinut joko vielä pidemmän kuivumisajan

tai kuivausaineen käyttöä. Painajan kommentit kertovat, että tällä substraatilla on ollut ongelmia musteen ja lakan kiinnitarttumisen ja kumitelalle kerääntymisen kanssa (Liite 5).

Ohuin koeajossa ollut paperi (Ahlström 70 g/m²) ei kestänyt embossauksessa syntyvää räsistystä vaan venyi embossattavan alueen laidoilta.

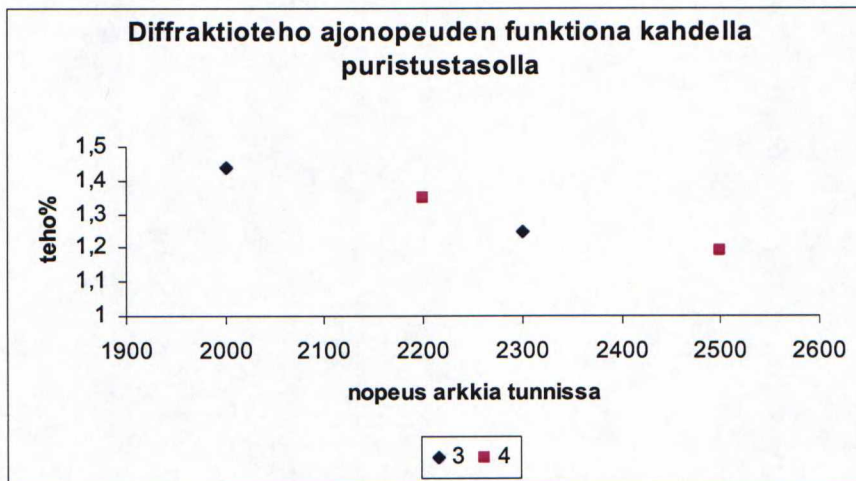
12.3.2. Puristus ja ajonopeus

Tässä koeajossa tutkittiin puristuksen vaikutusta pitämällä muut olosuhteet vakioina ja muuttamalla koneen puristusta. Koska puristuksen säätö tapahtuu vastasynterin peitteen alla olevien arkkien ja säätöruuvien avulla, ei puristustasoista ole varsinaisia lukuarvoja.



Kuva 43. Saavutetut diffraktiotehot kolmella eri lakalla eri puristustasoilla.

Kuva 43 esittää saatuja diffraktiotehoja eri puristuksilla. Kuten kuvasta voidaan huomata, on puristustason vaikutus minimaalinen. Ilmeisesti liian pienellä puristustasolla hila ei toistu juuri lainkaan suojalakkaan, ja riittävän puristuksen ylittäminen ei enää vaikuta saavutettavaan hilatehoon. Teoriaosassa esitettyjen tutkimusten mukaan puristuksen alkuvaiheessa kontaktipinta muuttuu nopeammin kuin paksuus, mutta varsin pian kovemmillä puristuksilla paksuuden muutos tulee suuremmaksi.

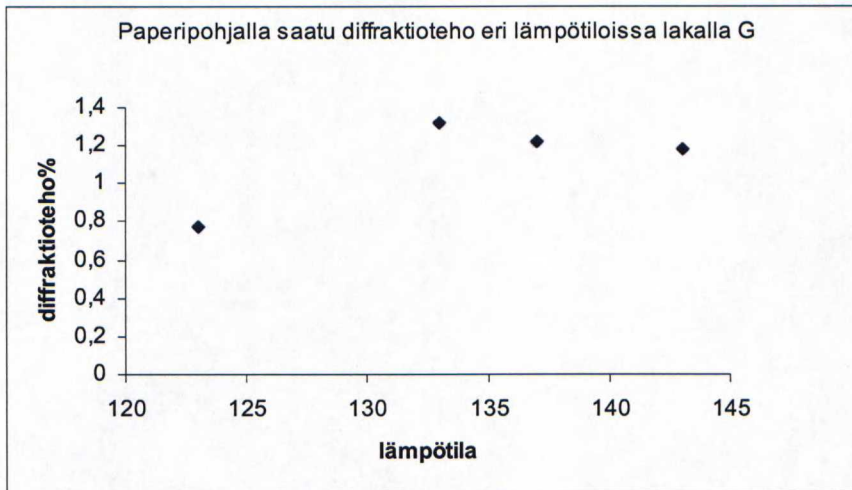


Kuva 44. Diffraktioteho ajonopeuden funktiona kahdella puristustasolla.

Ajonopeuden vaikutus on negatiivinen, mikä ei ole yllättävä löytö. Nopeuden kasvaessa aika niin lämmönsiirtoon kuin lakan muokkautumiseenkin lyhenee. Puristustasoilla ei ilmeisesti ole juuri vaikutusta saavutettavaan tehoon.

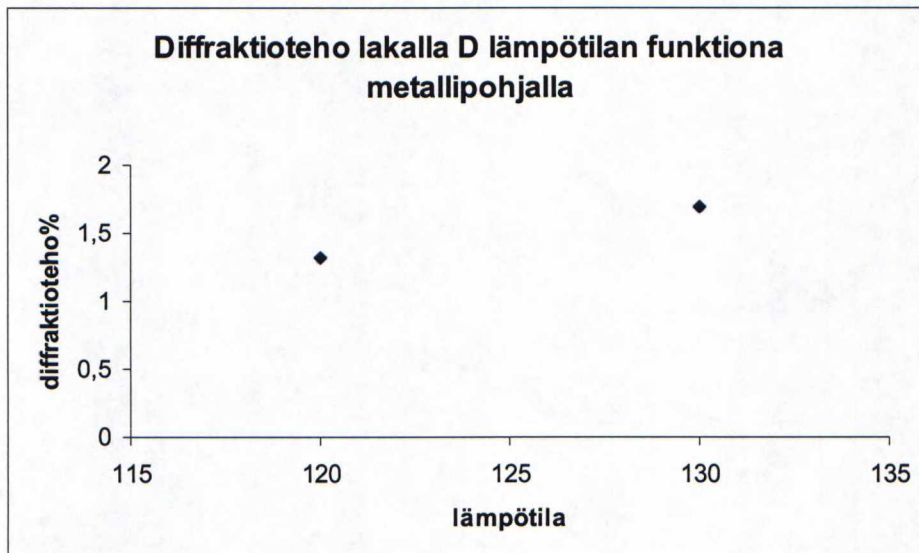
12.3.3. Lämpötilan vaikutus

Lakalla G tehtiin lämpötilasarja paperille kirjapainolaitteistolla. Kuvaajan muoto osoittaa vastaavaa käyttäytymistä kuin MTS-laitteistolla tehdyissä kokeissa: korkeammassa lämpötilassa tehdyssä embossauksessa saavutetaan parempi teho (Kuva 45). Jos lämpötilasarjaa olisi jatkettu vielä korkeammalle, olisi voitu nähdä, alkaako suuntaus kääntyä jo alaspäin. Substraatilla (kolmesti teräpäällystetty painopaperi) ei ollut vielä merkkejä minkään kerroksen hajoamisesta.



Kuva 45. Paperipohjalla saatu diffraktioteho lämpötilan funktiona lakalla G.

Metalloidulle paperille embossattiin aikataulusyistä vain yhdellä lakalla kaksi lämpötilaa. Odotetusti korkeampi lämpötila tuo tässäkin korkeammat tehot. Tehon kasvu ei kuitenkaan ole kovin suurta.



Kuva 46. Lakalla D metallipohjalla saavutettu diffraktioteho kahdella lämpötilalla.

13. Tulosten luotettavuuden arviointi

Työssä on tutkittu ilmiötä, jonka oli aiemmissa kokeissa todettu tapahtuvan. Mitään järjestelmällistä koesarjaa eri tekijöiden vaikutuksista ei kuitenkaan ollut tehty aiemmin. Koska ennakolta ei tiedetty, millaisilla olosuhteilla saadaan mitään mitattavia tuloksia, oli koejärjestelyissä valmistauduttava tekemään muutoksia kokeen aikana. Esimerkiksi käytettävä lämpötila-alue oli jokaisessa kokeessa haettava erikseen. Näistä syistä koesuunnittelua oli hankala tehdä, mikä näkyy koetuloksien vähyydessä ja vertailukelvottomuudessa.

Kokeiden tulosten mittauksessa on myös suuri epävarmuus, sillä käytetty mittausmenetelmä oli vasta kehitteillä työtä tehdessä ja mittauslaitteisto oli vasta prototyyppi. Sekä Oulun VTT:n laboratorioissa että kannettavalla mittarilla tehdyissä mittauksissa on huomattavaa epävarmuutta, mistä on kerrottu enemmän kappaleessa 9.

Kokeissa tehdyt näytesarjat ovat pieniä ja niissä on vähän koepisteitä, eikä rinnakkaismäärittäyksiä ole tehty. Tuloksia ei voi täysin verrata kokeesta toiseen, sillä kokeissa on käytetty niin neliömassaltaan kuin päällystystekniikoiltaan erilaisia materiaaleja. Lisäksi käytetyt painopinnat, -värit ja -lakat eivät ole samanlaisia, mikä sekin estää tulosten vertailua kokeiden välillä. Saaduista tuloksista ei voi tehdä järkevää tilastollista tarkastelua.

Tehdyt johtopäätökset perustuvat vain muutamilla koepisteillä tehtyihin havaintoihin, eikä johtopäätöksiä ole varmennettu uusilla kokeilla, joissa olisi voitu parantaa koejärjestelyä ja saada tarkempia tuloksia. Samansuuntaisia havaintoja on kuitenkin tehty sekä MTS-laitteistolla että kirjapainossa, joten osaa tuloksista voi pitää melko varmoina.

14. Kokeellisen osan johtopäätökset

Suojalakan (tai päällimmäisen mustekerroksen) alla olevan pinnan heikko musteen imukyky on hyvin tärkeä ominaisuus hilan toistamisen onnistumiseksi. Metalloitu paperi yksinään toimii hyvin yhdelläkin mustekerroksella, mutta paperipinnat vaativat useamman muste- tai lakkakerroksen. Suojalakan alla oleva painovärikerros ilmeisesti riittää sulkemaan paperin pinnan estäen lakkakerroksen imeytymistä. Lisäksi se tasoittaa optista epätasaisuutta, mikä osaltaan auttaa saavuttamaan hyvän kontaktin hilan kanssa puristettaessa. Suoraan päällystetyllä paperilla oleva painovärikerros ei toimi riittävän hyvin hilan toistamiseksi.

Todennäköisesti painovärikerros lakan alla ei muuta lakkojen käyttäytymistä metalloidulla substraatilla, mikäli oletus pinnan sulkemisesta pitää paikkaansa. Tällöin lisäkerros painoväriä vain muuttaa pinnan profilia, jolla ilmeisesti ei ole yhtä suurta merkitystä kuin pohjan kokoonpuristumisella. Lakan alla olevan kerroksen merkitys on näiden kokeiden valossa hyvin suuri, joten sen tarkempi tutkiminen voi tuoda paljon ymmärrystä hilan toistoon suojalakassa.

Käytettävällä lämpötilalla on suuri vaikutus saavutettavaan hilaan. Vähintään lakkakerroksen pintaosan tulee lämmetä yli lasipisteen, jotta hilan kopioituminen on mahdollista. Kun hilaa kopioidaan tuotanto-olosuhteissa, on luultavasti lämpötilaa kohotettava nyt käytetyistä, jotta myös ajonopeus saadaan korkeammaksi.

Käytettävän lakan ominaisuuksilla on hyvin suuri merkitys. Kaikilla kokeissa olleilla lakoilla ei saavutettu hyviä tehoja koskaan, vaikka ne kuitenkin olivat selkeästi termoplastisia. Lakkojen erilaiset lisäaineet vaikuttavat luultavasti hyvin paljon myös lakkakerroksen embosautuvuuteen, joten lakkojen koostumus on alue, jolla on hyvin paljon lisää tutkittavaa. Tässä työssä kuitenkin löydettiin joitakin toimimattomia yhdistelmiä. Osa toimimattomuudesta johtuu lakkojen heikosta lämpömuokkautuvuudesta, osa puolestaan oli huonosti toimivia materiaaliyhdistelmiä. Pehmittimien käytöstä voi olla apua lämpömuokkautuvuuden parantamisessa. Tässä työssä käytettyjen painovärien mahdollisesti sisältämistä pehmittimistä ei ole tietoa.

Puristuksen vaikutus saavutettavaan hilatehoon näyttää olevan hyvin vähäinen, ainakin käytetyillä puristusvoimilla. On todennäköistä, että jollain kohtaa saavutetaan puristustaso, jonka jälkeen puristuksen kasvattamisella ei enää ole merkitystä. Ajonopeuden vaikutus on odotettavissa: lyhyempi aika puristusvyöhykkeessä heikentää tehoa. Korkeammilla nopeuksilla niin lämmönsiirron kuin kuvion kopioitumisenkin pitää tapahtua nopeammin.

Koe, jossa käytetty suojalakkamäärä levitettiin yhtenä ja kahtena kerroksena, toi paremman tehon kaksoislevityksenä. Tämä havainto tukee teoriaosassa tehtyä oletusta painovärikerroksen tasaisuuden edullisuudesta. Lisäksi se tukee oletusta pinnan sulkemisen tärkeydestä.

15. Yhteenveto

Diffraktiivisen hilan toistamisessa painopintaan keskeisiä ongelmakohtia ovat pintaprofilin mittakaava, pinnan optinen käyttäytyminen ja pintamateriaalin muokkautuvuus lämmöllä ja puristuksella. Näiden lisäksi tässä työssä on löydetty sellaisia ongelmia diffraktiivisen hilan mittauksessa painopinnalla, joiden vuoksi tässä työssä saadut tulokset eivät ole edes keskenään vertailukelpoisia.

Paperin pinnan epätasaisuus on jopa useiden mikrometrin luokkaa. Diffraktiivisen hilan mittakaava puolestaan on noin pari sataa nanometriä. Pintaan tuleva noin muutaman mikrometrin paksuinen painoväri- ja lakkakerros ei juuri kykene tasoittamaan pintaa kuin optisen epätasaisuuden alueelta, joten hilalevyn ja painopinnan kontakti pitää yleensä saavuttaa puristuksen avulla.

Kuten teoriaosassakin on esitetty, on puristuksen alkuvaiheessa paperin kontaktipinnan muutos nopeampaa kuin paksuuden muutos, mutta voiman kasvaessa suhteet muuttuvat. Ilmeisesti kokeissa puristuksen merkitys oli häviävä juuri sen vuoksi, että oltiin jo alueella, jossa kontaktipinta ei enää muutu merkittävästi, vaikka painetta kasvatettaisiin. Kokoonpuristuvuutta pidetään painatuksessakin ominaisuutena, joka voi korvata paperin pinnan sileyttä. Ilmeisesti myös mikroembossauksessa asia on näin ja oleellisempaa kuin paperin pinnan tasaisuus on se, miten hyvin kokoonpuristuvuus tasoittaa pintaa. Samalla tekniikalla tehdyissä kokeissa, joista on mitattu hilaprofiilit, on hilan syvyysvaihteluksi mitattu vain noin kymmenen nanometriä, kun koko hilan syvyys on 180 nanometriä /41/.

Pinnan optinen käyttäytyminen painetulla paperilla on monien vuorovaikutusten summa. Pinnassa oleva hila lisää tähän käyttäytymiseen vielä yhden tekijän. Osa pinnalle tulevasta valosta diffraktoituu suoraan, osa menee suojalakan sisälle ja läpi alla olevaan rajapintaan, mistä heijastuu ja siroaa, ja diffraktiota tapahtuu hilan läpi molempiin suuntiin. Koska tässä tutkittu tuote on visuaalinen efekti, ovat hilan alapuolelta tulevat heijastukset vain eduksi.

Tässä työssä tehtyjen koesarjojen tulosten keskinäinen vertailu ei onnistu, koska niissä käytetyt materiaalit eivät toimi optisesti samalla tavoin. Paperin epätasainen pinta on muistettava ottaa huomioon tarkasteltaessa hilan optista käyttäytymistä paperilla. Jos hilaa

käytetään sovelluksiin, joissa diffraktiomaksimin tarkka sijainti tai teho on tärkeää, paperin ja painopinnan optiseen toimintaan on kiinnitettävä erityistä huomiota.

Hilan toistamisen kannalta painoväriin imeytyminen pintaan on ilmeisesti hyvin haitallista, etenkin päällimmäisessä kerroksessa. Koska metalloiduilla substraateilla jo yksikin painokerros toimi hyvin, ilmeisesti alla olevalla painovärikerroksella on tärkeä tehtävä sulkea paperin pintaa suojalakan imeytymiseltä. Samoin suojalakan levittäminen kahtena kerroksena tuottaa paremman tehon pinnalle toistettavaan hilaan. Näiden kokeiden perusteella suojalakan alla olevan kerroksen tasaisuus musteen imeytymisen kannalta on hyvin tärkeä ominaisuus.

Lämpötila ja painovärien materiaali yhdessä vaikuttavat saavutettavaan diffraktiotehoon hyvin paljon. Teoriassa termoplastinen materiaali muokkautuu lämpötilassa, joka ylittää lasipisteen mutta ei vielä saavuta sulamispistettä. Käytännössä joillakin käytetyistä materiaaleista saavutettava hilateho jäi hyvin heikoksi, vaikka selkeästi jo oltiin lämpömuokkauksen alueella. Ilmeisesti näillä materiaaleilla aikaansaadusta muodonmuutoksesta liian suuri osa oli palautuvaa. Kokeissa oli myös materiaaleja, joiden käyttäytyminen oli suorastaan ideaalista. Lämpötilan kohotessa saavutettiin diffraktiotehon maksimi, jonka jälkeen lämpötilan kasvattaminen alkoi vaikuttaa jo negatiivisesti hilatehoon materiaalin joutuessa liian lähelle sulaa tilaa. Hilan kopioituminen vaatii lakan ylittävän lasipisteensä, joten todennäköisesti tuotannossa ajonopeuden kasvattaminen vaatii myös käytettävien lämpötilojen kohottamista.

16. Lisätutkimusten tarve

Hilan toistamisessa tässä työssä tutkitulla tekniikalla keskeinen tekijä on lämpötila. Lakkakerroksen paksuudesta ei muokattavaan tilaan tarvitse saada oletettavasti kuin vain muutama sata nanometriä, joten lämpötilan ja ajonopeuden keskinäinen käyttäytyminen on asia, joka vaatii lisätutkimusta. Tuotanto-oloissa juuri niiden avulla hallitaan lämmönsiirtoa lakkakerroksessa.

Lakkojen lisäaineet ja muu koostumus on tärkeä tekijä lakkojen lämpömuokkautuvuudelle. Niiden tutkimuksessa tärkeimmät kohteet ovat sideaineet ja erilaiset kuivaus- ja pehmitysaineet. Sideaineet määräävät eniten suojalakan termoplastisuutta. Pehmittimet puolestaan vaikuttavat sideaineen molekyylimassaan kuivumisreaktioita säätelämällä. Onko pehmittimillä mahdollista parantaa sideaineen kykyä hilantoistoon?

Tämän työn tuloksissa suojalakan alla oleva kerros ratkaisee paljon hilan toistettavuudesta suojalakkaan. Mikä rooli pintakerroksella on ja mitä ominaisuuksia pinnan alla olevilla kerroksilla pitää olla? Miten suuri osuus toistettavuudesta syntyy pintakerroksen alla olevissa painovärikerroksissa?

Lakkojen ja musteiden vuorovaikutus päällysteen komponenttien kanssa on aihe, jota tutkitaan paljon muuallakin. Tässä työssä ei ole tutkittu paperin päällysteen merkitystä. Kokeissa kuitenkin samat painomusteet ja -lakat toimivat joillakin päällysteillä hyvin, mutta toisilla päällysteillä heikosti tai ei lainkaan. Päällystekerroksen sideaineet ja pigmentit imevät musteen osasia eri tavoin. Mitkä kaikki päällysteen ominaisuudet vaikuttavat ja miten? Ainakin alueen tutkimusta on syytä seurata ja tarpeen mukaan tehdä myös itse.

Toistetun hilan tehonmittaus oli asia, joka ei varsinaisesti edes kuulu tähän työhön. Kuitenkin työn yhteydessä on tullut vastaan erilaisia mittausingelmia, joten tehonmittausta ei voi sivuuttaa tässä työssä. Koska tehonmittaukseen vaikuttavat hyvin paljon käytettävät materiaalit, olisi tärkeää saada mittaus kehitettyä sellaiseksi, että eri materiaalien optinen käyttäytyminen ei vaikeuta tulosten vertailua. Yksi mahdollisuus tähän voisi olla mitata diffraktiominimin kohdan voimakkuus ja käyttää sitä nollatasona varsinaisen tehon mittauksessa.

Viitteet

¹ Nave, C., R.. HyperPhysics – Light and vision. [online] Georgia State University. Department of Physics and Astronomy. 1997. [viitattu 8.7.2005] Saatavissa:

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/polar.html#c2>

² Thompson, B. Printing Materials: Science and Technology 2nd edition. Pira Reference series. Leatherhead, UK. 2001. 591 s.

³ Oittinen, P. & Saarelma, H. Paper making Science and technology, Part 13 Printing, Julk. Fapet, Jyväskylä 1998.

⁴ Anonymous. Bartelby.com. [online][viitattu 1.7.2005] Saatavissa:

<http://www.bartleby.com/61/72/H0337200.html>

⁵ Nave, C., R.. HyperPhysics – Light and vision. [online] Georgia State University. Department of Physics and Astronomy. 1997. [viitattu 8.7.2005] Saatavissa:

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/bardif.html#c1>

⁶ Nave, C., R.. HyperPhysics – Light and vision. [online] Georgia State University. Department of Physics and Astronomy. 1997. [viitattu 8.7.2005] Saatavissa:

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/mulslid.html>

⁷ Nave, C., R.. HyperPhysics – Light and vision. [online] Georgia State University. Department of Physics and Astronomy. 1997. [viitattu 8.7.2005] Saatavissa:

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/grating.html>

⁸ Dickson, L. Volume Diffraction Gratings for Wavelength Division Multiplexing. [online] Wasatch Photonics. Logan. Utah, USA. [viitattu 8.7.2005] Saatavissa:

<http://www.wasatchphotonics.com/documents- word, pdf/gratingtutorial.pdf>

⁹ Gale, M. T., Gimkiewicz, C., Obi, S., Schnieper, M., Söchtig, J., Thiele, H. & Westenhöfer, S. Replication technology for optical microsystems, Optics and Lasers in Engineering. 43 (2005). s. 373–386.

¹⁰ Gale, M. T. Replication techniques for diffractive optical elements. Microelectronic engineering. 34 (1997). s. 321–339.

¹¹ Leech, P. W., Sexton, B. A., Marnock, R. J. & Smith, F. Fabrication of hologram coins using electron beam lithography. *Microelectronic Engineering*. 71 (2004) s. 171–176.

¹² Kajanto, I., Laamanen, J. & Kainulainen M. Paper Bulk and Surface. Paper making Science and technology, Part 16, Paper Physics, Toim. K. Niskanen. Julk. Fapet. Jyväskylä. 1998.

¹³ Juvonen, K., Paperin pinnan topografian mittaaminen. Paperin pintaominaisuudet. Vantaa. 14.–15.3.2001. AEL/METSKO, Helsinki 2001, IX 9 s.

¹⁴ Juvonen, K., Järvinen, H. & Suontausta O. Characterization of surface topology of coated paper by laser profilometry. [online] KCL. Espoo. [viitattu 18.5. 2005] Saatavissa:
<http://www.kcl.fi/pdf/laserpro.pdf>

¹⁵ Haavisto, J., Salmi, J., Marttila J., KCL seloste 2327, Oy Keskuslaboratorio, Espoo. 1997. 33 s.

¹⁶ Marx, D. T. Surfaces and contact mechanics. [online] Southern Illinois University, Center for advanced Friction studies. [viitattu 18.5.2005] Saatavissa:
<http://www.siu.edu/~cafs/surface/file10.html>

¹⁷ Suontausta, O., KCL seloste 2294, Oy Keskuslaboratorio, Espoo. 1996, 32 s

¹⁸ Hansson, P. Surface characterization using radiometric and fourier optical methods. [online] Acta Universitatis Uppsaliensis. Uppsala 2003. [viitattu 18.5. 2005] Saatavilla:
http://www.diva-portal.org/diva/getDocument?urn_nbn_se_uu_diva-3569-1__fulltext.pdf

¹⁹ Wink, W. A. & Baum, G. A. A Rubber Platen Caliper Gauge – A New Concept In Measuring Paper Thickness. *Tappi J.* vol 66(1983), nro 9. s. 131–133.

²⁰ Schaffrath H. J. & Göttching L. The Behaviour Of Paper Under Compression In Z-Direction. *Tappi 1991 International Paper Physics Conference*, Kona, Hawaii. 22–26 Sept. 1991. Atlanta, GA, USA. TAPPI Press, 1991. s. 359–716.

²¹ Heikkilä, I. Viscoelastic model of paper surface compressibility, *Pap. puu.* vol 79 (1993), 3. s. 186–192.

²² Jackson, M. & Ekström, L., Studies concerning the compressibility of paper. *Svensk papperstidning* 67 (1964):20. s. 807–816.

²³ Heikkilä, I., Oittinen, P., Saarelma, H. & Tuovinen P. Dynaaminen kontaktisileyden mittausten menetelmä, *Pap. puu.* vol 76 (1994) no 6-7. s. 399–402.

-
- ²⁴ Ponkkala, T., Kartonkien kokoonpuristuvuus, VTT tutkimusselostus. 10.6.2004
- ²⁵ Endres, I., Vomhoff, H., Ström, G., New sensor technique for measuring microscale pressure distribution. STFI/Karstad university, 2004.
- ²⁶ Juvonen, K., KCL seloste 218. Oy Keskuslaboratorio, Espoo. 1999. s.29.
- ²⁷ Thompson, B. Printing materials science and technology. Pira international. Leatherhead, UK. 1998. 567 s.
- ²⁸ Kipphan, H. Handbook of print media: technologies and production methods. Springer Verlag GmbH and Co KG. Heidelberg, Berlin, 2001. 1207 s.
- ²⁹ Husband, J. C., Preston, J., S. & Heard, P., J. An Analysis of ink films printed onto paper: the influence of paper coatings. Pap Technol. 45 (2004), 5. s. 19–22.
- ³⁰ Williams, C. Printing ink technology. Pira international Ltd. Leatherhead, UK. 2001. 94 s.
- ³¹ Kinnunen, J. Laquers in embossing technology and their modification. Pro gradu -työ. Oulun yliopisto, Luonnontieteellinen tiedekunta, kemian laitos. Oulu 2004.
- ³² Chair Grajek, N., writers Durgan, C., Elliot, A., et al. Gravure Process and Technology, Chapter 16-Gravure Inks and Solvents. Julk. Gravure Education Foundation and Gravure Association of America. Rochester, New York, USA. 2003. 558.
- ³³ Leuenberger, S. The safe selection of plasticizers. Flexo Gravure Int. vol. 10 (2004) no. 4, Dec. 2004. s. 18–21.
- ³⁴ Panu Lahtinen, VTT. Sähköposti. 22.6.2005.
- ³⁵ Suzuki, A. Environmental load reduction related to gravure ink: environmentally friendly inks. Pap. Film Foil Converttech Pac. vol. 11 (2003) 2, Apr.–Jun. s. 14–18.
- ³⁶ Bhide, H. Hot-melt inks for rotogravure: formulation, printability and rheology. Gravure. vol. 16 (2002) 4. s. 38–47.
- ³⁷ Publishing technology, July 89, North American Publishing co. Philadelphia, PA. s. 26–33 referoitu Kluepfel, B. & Ross, M. Holography market place. 3rd edition. editors Ross books. Berkeley, CA. 1991. 170 s.

³⁸ Varjos, P., Kataja, K., Lipponen, M. & Qvintus-Leino, P. Absorption studies of coldset ink components into paper. *Pap. Puu.* vol 86 (2004) 1, s. 34–38.

³⁹ Rousu, S., Gane, P. & Eklund, D. Print quality and the distribution of offset ink constituents in paper coatings, *Tappi J.* 4 (2005) 7, s. 9–15.

⁴⁰ Scholkopf, J. & Gane, P.A.C. The moment ink contacts the surface: a fresh look at the absorption dynamic into coated papers. *Int. Papwirtsch.* 2004, no. 2, s. 36–42.

⁴¹ Pekka Koivukunnas. Avantone Oy. Kirjallinen tiedonanto. 23.5.2005.

Paperinäytteet MTS-sarja

Tulokset on laskettu 10 mittauksen keskiarvoina.

Galerie Art 150 g/m²

Painoväri magenta

	paperi + painoväri 1g	paperi + painoväri 1,5 g	paperi + painoväri 2 g
lämpö			
70,00			
80,00			
90,00	0,31	0,68	
100,00	0,55	0,49	0,40
110,00		0,57	0,62
115,00			
ka	0,43	0,58	0,51

Lakka A

	paperi + lakka A 1 g	paperi + lakka A1,5 g	paperi + lakka A 2 g	paperi +painoväri + lakka A 1 g	Paperi +painoväri + lakka A1,5 g	paperi +painoväri + lakka A 2 g
Lämpö						
70,00			0,89			
80,00	0,61	0,54	1,11	0,33	0,24	0,29
90,00	0,62	0,69	0,96	0,65	0,79	0,58
100,00	0,35	0,96	0,86	0,63	0,54	0,57
110,00				0,90	0,86	0,41
115,00					0,95	0,61
120,00					1,01	0,90
130,00						1,09
140,00						0,99
150,00						
160,00						
Ka	0,53	0,73	0,96	0,63	0,73	0,68

Lakka B

	paperi + lakka B 1 g	paperi + lakka B 1,5 g	paperi + lakka B 2 g	paperi +painoväri + lakka B 1 g	Paperi +painoväri + lakka B 1,5 g	paperi +painoväri + lakka B 2 g
Lämpö						
70,00		0,34	0,21	0,67	0,57	0,59
80,00		0,31	0,37	1,28	1,30	0,96
90,00	0,32		0,40	1,39	1,44	1,12
100,00			0,34	1,33	1,46	
110,00				1,05	1,32	1,13
115,00						0,84
120,00						
130,00						
140,00						
150,00						
160,00						
Ka	0,32	0,33	0,33	1,14	1,22	0,93

Lakka C

	paperi + lakka C pieni	paperi + lakka C normaali	paperi + lakka C suuri	paperi +painoväri + lakka C pieni	Paperi +painoväri + lakka C normaali	paperi +painoväri + lakka C suuri
Lämpö						
70,00	0,67		0,92	0,33		
80,00	1,43	0,49	0,84	0,35	0,78	0,93
90,00	0,92	0,32	1,04	0,91	0,51	1,30
100,00	0,70	0,77	0,97	1,50	1,22	1,34
110,00		1,49	0,52	2,01		0,96
115,00						
120,00						
130,00						
140,00						
150,00						
160,00						
Ka	0,93	0,77	0,86	1,02	0,83	1,13

Metalloitu paperi MTS-sarja
Slate metallized brite plain 73 g/m²
Painoväri magenta imemättömälle substraatille
Lakka A

Lämpö	metalloitu + painoväri 1 g	metalloitu + painoväri 1,5 g	metalloitu + painoväri 2 g	metalloitu + lakka A 1 g	metalloitu + lakka A 1,5 g	metalloitu + lakka A 2 g
70,00						
80,00						
90,00				0,85	0,73	
100,00		0,39	0,75	0,35	0,69	
110,00	0,74	1,50	1,18		0,10	
115,00						
120,00	0,98	0,71	1,23	0,48	0,36	0,07
130,00	1,85	0,82	1,26	0,50	0,26	
140,00	1,06	1,57	0,94	0,68	0,34	0,37
150,00	1,75	1,70	1,45	1,11	1,12	0,38
160,00	1,57	0,95	1,58	0,84	0,45	0,34
Ka	1,32	1,09	1,20	0,69	0,51	0,29

Lakka B
Lakka C

Lämpö	metalloitu + lakka B 1 g	metalloitu + lakka B 1,5 g	metalloitu + lakka B 2 g	metalloitu + lakka C pieni	metalloitu + lakka C normaali	metalloitu + lakka C suuri
70,00						
80,00		1,26				
90,00		0,70		1,69		0,84
100,00	1,36	1,74			0,78	
110,00	0,81	1,02		1,76	2,46	1,35
115,00						
120,00	1,58	0,98		1,91	2,12	1,54
130,00	0,54			2,64	1,90	1,72
140,00	1,25	0,59	1,12	2,04	2,07	1,91
150,00	1,09	0,65	1,11	2,49	1,96	1,43
160,00	0,94	1,15	1,03	2,01	1,97	1,87
Ka	1,08	1,01	1,09	2,08	1,89	1,52

hansa press

4/04

HANSAPRINTIN ASIAKASL

ARVOT KOHDALLAAN

- * asiakasläheisyys
- * edelläkävijyys
kehityksessä
- * menestymisen tahto
- * yksilön arvostaminen
ja vastuullisuus

SUOMEN SYDÄNLIITTO
OTTI HANSACARDIN AVUKSI

Hansaprintin tuotantojohtaja Lasse Krogell:

HALUAMME MENI



Hansapress 4/04

joitus



ASIAKAS ON AINA YKKÖNEN

Kuten hyvät lukijamme varmasti tiedostavat, Hansaprint on viime vuosina panostanut voimakkaasti tuotantokapasiteettimme uudistamiseen yhteensä noin 130 miljoonan euron arvosta. Konekantamme onkin huippumoderni koko valmistusprosessimme osalta pre-press-toiminnoista painosalin kautta aina jälkikäsittelylaitteistoihin asti.

Yhtä keskeistä kuin moderni tuotantokapasiteetti on kuitenkin henkilöstömme osaamisen järjestelmällinen kehittäminen. Osaamisen pohjalta olemme määritelleet Hansaprintin ydinprosesseiksi seuraavat kolme palveluprosessimme osiota:

- asiakkuuksien hallinta eli asiakkaidemme tarpeiden kokonaisvaltainen ymmärtäminen ja tästä lähtevä palveluidemme kehitys
- tilaus-toimitus-prosessi eli koko valmistusketjun tehostaminen asiakas-palvelusta valmiin tuotteen jakeluun
- tutkimus- ja kehitystoiminta, tavoitteena olla toimialamme edelläkävijä kehityksessä.

Nämä keskeiset palveluprosessimme osiot edellyttävät koko henkilöstöl-tämme huippuosaamista. Hansapressin tässä numerossa keskitymme kerto-maan, miten kehitämme asioita asiakkuus- ja tuotanto-organisaatiossamme ja miten olemme vahvistaneet resurssijamme näiden prosessien johtamisessa. Samalla panostamme koko henkilöstömme koulutukseen kohtaamaan uudet haasteet jatkuvasti muuttuvassa toimintaympäristössä.

Yhteistä tulevaisuutta olemme rakentamassa yhdessä asiakkaidemme ja kumppaniemme kanssa. Tästä panostuksesta ovat hyvänä osoituksena tänä vuonna käynnistetyt kehityshankkeet Avantonen (tuoteominaisuudet, älypai-naminen) ja Future Printing Centerin (painomateriaalien kehitys, testipaina-tukset) kautta sekä omat investointimme digitaaliseen painamiseen ja tuote-kehitykseen esimerkiksi HANSACARDin muodossa. Kaikkien näiden panos-tuksen tavoitteena on asiakkaidemme hyöty entistä parempien viestintärat-kaisujen ja viestintäprosessien kustannussäästöjen avulla. Systemaattinen ja ta-voitteellinen toimintamme kehittäminen on kaikkien etu, toivon että voim-me tulevanakin vuonna panostaa tähän yhteistyössä asiakkaidemme kanssa!

Kuluneen vuoden yhteistyöstä kiittäen ja rauhausaa joulunaikaa toivottaen,
Timo Ketonen

Päätoimittaja Timo Ketonen, Hansaprint Oy | **Toimitus** Sanoma Magazines Finland Yritysjulkaisut
Päätoimittaja Jukka Miettinen, AD Marika Heilimo | **Julkaisija** Hansaprint Oy
Kustantaja Sanoma Magazines Finland Oy | **Painopaikka** Hansaprint Oy 2004
Kansikuva Juha Salminen | Hansapress ilmestyy neljä kertaa vuodessa.

Kannen erikoistehoste on toteutettu Avantone Oy:n kehittämän DIFTONE® optisen efektiin avulla.



»

Tehdaspa
Juha Reiv

Tuotantop
Jussi Lind

Tehdaspa
Jukka Hei



NIMITY

» Tuotant

Hansaprintin
Reivolahti. H
taan kehittä
toteutuksesta

Direct-teh
tantopäällikö
tuotannon tu
suunnittelust
Lindeman,
Reivolahtelle

Samassa
deksi tehdasp
viimeksi työ
Mikkelissä sij
työskennellyt

Marko Val

Liite 3

Name	R1	R2	R3	R4	R5	R6	k.a.	stdev
0.2 s+s	1,1567	1,0581	1,1638	0,9822	1,1002	1,0258	1,0811	0,0725
0.2 s	0,8492	0,8208	0,6863	0,9192	0,9415	0,6848	0,8170	0,1110
0.2 H	0,2761	0,5370	0,6290	0,6877	0,5289	0,6624	0,5535	0,1506
0.2 W	0,1859	0,1926	0,2224	0,1557	0,2185	0,2875	0,2104	0,0449

Lakka s
Lakka H
Lakka W

Paperi Metalvac Sarpio flat 73 g/m2
Lakka d
Lakka e
Lakka f
Lakka g

Name	lakka	puristus	lämpö	R1	Ka
m73 L1 sp120	d	2	113	1,22	
m73 L1 sp120	d	2	113	1,36	
m73 L1 sp120	d	2	113	1,46	
m73 L1 sp120	d	2	113	1,23	1,32
m73 L1 sp120 p-	d	1	113	1,29	
m73 L1 sp120 p-	d	1	113	1,29	
m73 L1 sp120 p-	d	1	113	1,48	
m73 L1 sp120 p-	d	1	113	1,32	1,35
m73 L1 sp130	d	2	123	1,61	
m73 L1 sp130	d	2	123	1,73	
m73 L1 sp130	d	2	123	1,76	
m73 L1 sp130	d	2	123	1,65	1,69
m73 L2 sp130	e	2	123	1,48	
m73 L2 sp130	e	2	123	1,54	
m73 L2 sp130	e	2	123	1,42	
m73 L2 sp130	e	2	123	1,45	1,47
m73 L3 sp130	f	2	123	1,84	
m73 L3 sp130	f	2	123	1,67	
m73 L3 sp130	f	2	123	1,88	
m73 L3 sp130	f	2	123	1,76	1,79
m73 L4 sp130	g	2	123	1,57	
m73 L4 sp130	g	2	123	1,31	
m73 L4 sp130	g	2	123	1,27	
m73 L4 sp130	g	2	123	1,35	1,37
m73 sp130	-	2	123	2,49	
m73 sp130	-	2	123	1,78	
m73 sp130	-	2	123	2,11	
m73 sp130	-	2	123	2,83	2,30

Paperi Galerie Art 170g/m2
Lakka d
Lakka e
Lakka f
Lakka g

Galerie Art 170						
Name	lakka	puristus	nopeus	oikea lämpö	R1	ka
ga170 L1 sp130 p	d	1		123	0,96	
ga170 L1 sp130 p	d	1		123	1,27	
ga170 L1 sp130 p	d	1		123	1,33	
ga170 L1 sp130 p	d	1		123	1,51	1,27
GA170 L1 sp130 p+	d	2		123	1,07	
GA170 L1 sp130 p+	d	2		123	1,23	
GA170 L1 sp130 p+	d	2		123	1,25	
GA170 L1 sp130 p+	d	2		123	1,08	1,16
ga170 L2 sp130 p	e	1		123	1,22	
ga170 L2 sp130 p	e	1		123	1,21	
ga170 L2 sp130 p	e	1		123	1,26	
ga170 L2 sp130 p	e	1		123	1,20	1,22
GA170 L2 sp130 p+	e	2		123	1,13	
GA170 L2 sp130 p+	e	2		123	1,04	
GA170 L2 sp130 p+	e	2		123	0,73	
GA170 L2 sp130 p+	e	2		123	0,73	0,91
ga170 L2 sp130 p++ 1850	e	3	1850	123	1,38	
ga170 L2 sp130 p++ 1850	e	3	1850	123	1,21	
ga170 L2 sp130 p++ 1850	e	3	1850	123	1,21	
ga170 L2 sp130 p++ 1850	e	3	1850	123	1,38	1,30
ga170 L3 sp130 p	f	1		123	1,19	
ga170 L3 sp130 p	f	1		123	1,44	
ga170 L3 sp130 p	f	1		123	1,51	
ga170 L3 sp130 p	f	1		123	1,18	1,33
Ga170 L3 sp130 p+	f	2		123	0,74	
Ga170 L3 sp130 p+	f	2		123	0,82	
Ga170 L3 sp130 p+	f	2		123	0,67	
Ga170 L3 sp130 p+	f	2		123	1,01	0,81
ga170 L3 sp130 p++ 2000	f	3	2000	123	1,34	
ga170 L3 sp130 p++ 2000	f	3	2000	123	1,48	
ga170 L3 sp130 p++ 2000	f	3	2000	123	1,39	
ga170 L3 sp130 p++ 2000	f	3	2000	123	1,56	1,44

ga170 L3 sp130 p++ 2300	f	3	2300	123	1,15	
ga170 L3 sp130 p++ 2300	f	3	2300	123	1,15	
ga170 L3 sp130 p++ 2300	f	3	2300	123	1,36	
ga170 L3 sp130 p++ 2300	f	3	2300	123	1,34	1,25
ga170 L3sp130 p+++ 2200	f	4	2200	123	1,45	
ga170 L3sp130 p+++ 2200	f	4	2200	123	1,24	
ga170 L3sp130 p+++ 2200	f	4	2200	123	1,33	
ga170 L3sp130 p+++ 2200	f	4	2200	123	1,40	1,35
ga170 L3sp130 p+++ 2500	f	4	2500	123	1,12	
ga170 L3sp130 p+++ 2500	f	4	2500	123	1,21	
ga170 L3sp130 p+++ 2500	f	4	2500	123	1,14	
ga170 L3sp130 p+++ 2500	f	4	2500	123	1,28	1,19
Ga170 L4 sp 130 p+	g	2		123	0,73	
Ga170 L4 sp 130 p+	g	2		123	0,83	
Ga170 L4 sp 130 p+	g	2		123	0,74	
Ga170 L4 sp 130 p+	g	2		123	0,77	0,77
ga170 L4 sp 140 p	g	1			1,28	
ga170 L4 sp 140 p	g	1			1,39	
ga170 L4 sp 140 p	g	1			1,20	
ga170 L4 sp 140 p	g	1		132,6955	1,39	1,32
ga170 L4 sp 145 p	g	1			1,05	
ga170 L4 sp 145 p	g	1			1,31	
ga170 L4 sp 145 p	g	1			1,19	
ga170 L4 sp 145 p	g	1		137,6395	1,33	1,22
ga170 L4 sp 150 p	g	1			1,24	
ga170 L4 sp 150 p	g	1			1,20	
ga170 L4 sp 150 p	g	1			1,08	
ga170 L4 sp 150 p	g	1		142,5835	1,20	1,18

Painajan kommentit 21.12. 04

Lakka D:

Intact 70 gms: herkkä lakansäätö nappaa helposti kiinni kipristyy herkästi
Supercote 80 gms: kulkee paremmin ei kipristä arkkia
Metalvac 73 gms: Kulkee ok! Ei kipristy lakan määrää vaikea määritellä
GAlerie Art 170: Kulkee ok! Lakan määrää sai lisätä!
Incada 275: lakan määrää sai laskea muuten ok herkästi kiinnitarttuvaa
Ei tuoksu voimakkaasti

Lakka E: samat kommentit kuin lakka D

Lakka F:

GA170: ei ongelmia kulkee hyvin lakka ei niin kiiltävä kuin I ja II pinta hieman tahmeampi
Supercote 80: lakka hieman ”halkeilee” haju voimakkaampi kuin I ja II rasterissa moiree kuviota??
Metalvac 73: toimii ok
Intact 70: toimii ok
Incada 275 pinta halkeilee kuten Supercote
Lakassa voimakas tuoksu

Lakka G:

Incada 275: kerää kumitelalle väriä
GA 170: kulkee ok!
Supercote 80: samaa halkeilua kuin lakka III:ssa
Intact 70: toimii ok!
Metalvac 73: toimii ok!
Lakka ei tuoksu voimakkaasti

~~PUP-05~~

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY
CHICAGO, ILL.